



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ZDOKONALENÍ TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI TYPU PŘÍRUBA

IMPROVEMENT OF MANUFACTURING TECHNOLOGY OF FLANGE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Dvořák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Jakub Dvořák**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Zdokonalení technologie výroby součástí typu příruba

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou popsány použité výrobní technologie, řezné materiály a jsou charakterizovány hliníkové slitiny. Nosná část práce je zaměřena na vylepšení stávajícího technologického postupu pro součást typu příruba a následné technicko-ekonomické zhodnocení.

Cíle diplomové práce:

1. Charakteristika výrobních technologií.
2. Charakteristika řezných materiálů.
3. Charakteristika hliníkových slitin.
4. Popis stávajícího technologického postupu.
5. Navržení nového technologického postupu.
6. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 255 s. ISBN 80-214-2374-9.

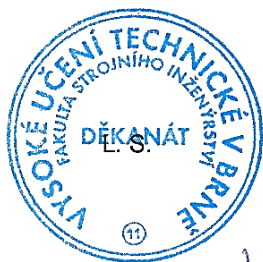
PTÁČEK, L. Nauka o materiálu I. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2003. ISBN 80-7204-283-1.

PÍŠKA, M. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235s. ISBN 978-80-254-2250-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 31. 10. 2018



prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na vylepšení stávající technologie součásti typu příruba ve spolupráci s firmou Znojemské strojírný, s r. o. V teoretické části byly popsány technologie využití při obrábění součásti. Dále jsou řešeny řezné materiály a slitiny hliníku. V praktické části byl proveden podrobný rozbor stávající technologie a následná racionalizace výrobního procesu, s ohledem na časové a finanční úspory. Po návrhu zdokonalení současného výrobního procesu byl sestaven nový technologický postup. Na závěr bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení návrhu zdokonalení výrobního procesu.

Klíčová slova

Zdokonalení, příruba, technologický postup, technologie, hliníkové slitiny, CNC obrábění, frézování, vrtání, výroba závitů, řezné materiály

ABSTRACT

This diploma thesis focuses on improvement of the existing technology of the flange part in cooperation with the company Znojemské strojírný, s r. o. The theoretical part describes the technologies used in machining of the component. Subsequently, cutting materials and aluminum alloys are dealt with. A detailed analysis of the existing technology is performed in the practical part of the thesis followed by rationalization of the production process, which was carried out with respect to time and financial savings. A new technological procedure is developed after the improvement of the current production process. Finally, a technical-economic evaluation of the design improvement process is carried out.

Key words

Improvement, flange, technological process, technology, aluminum alloys, CNC machining, milling, drilling, thread production, cutting materials

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DVOŘÁK, Jakub. *Zdokonalení technologie výroby součásti typu příruba*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117503>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Aleš Jaroš.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Zdokonalení technologie výroby součásti typu příruba** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jakub Dvořák

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Aleši Jarošovi, Ph.D., za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále pak děkuji firmě Znojemské strojírny, s r.o., konkrétně paní Ing. Markétě Novákové za aktivní spolupráci a poskytnutí informací k vypracování práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za podporu během celého studia.

FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List	7
---------	-----------------	------	---

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
ÚVOD.....	9
1 CHARAKTERISTIKA VÝROBNÍCH TECHNOLOGIÍ	10
1.1 Technologie frézování	10
1.1.1 Kinematika frézování.....	10
1.1.2 Rozdělení frézování	11
1.1.3 Frézovací stroje a nástroje	13
1.2 Technologie vrtání	16
1.2.1 Kinematika vrtání	16
1.2.2 Vrtací stroje a nástroje	17
1.3 Technologie výroby závitů	19
1.3.1 Výroba závitů řezáním pomocí závitníku.....	20
1.3.2 Výroba závitů pomocí tvářecího závitníku.....	23
1.3.3 Frézování závitu.....	24
2 CHARAKTERISTIKA ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ	25
2.1 Řezné materiály pro obrábění hliníkových slitin.....	26
2.1.1 Slinuté karbidy.....	26
2.2.2 Polykrystalický diamant	28
3 CHARAKTERISTIKA HLINÍKOVÝCH SLITIN	29
3.1 Rozdělení a označování Al slitin	30
3.2 Tepelné zpracování Al slitin	32
3.2.1 Vytvrzování slitin hliníku	32
3.3 Obrobitelnost hliníkových slitin	32
4 POPIS STÁVAJÍCÍHO TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU	35
4.1 Firma Znojenské strojírny, s r.o.....	35
4.2 Současný technologický postup.....	35
4.3 Obráběcí stroj.....	40
4.4 Polotovar.....	41
4.5 Obrobek	44
4.6 Použité nástroje.....	44
5 NAVRŽENÍ NOVÉHO TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU	46
5.1 Změna polotovaru	46

FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List	8
---------	-----------------	------	---

5.2 Zrušení pracoviště výroby závitů.....	48
5.3 Úprava řezných podmínek	48
5.4 Snížení operačního času na ručním pracovišti odjehlení.....	49
5.5 Nová strategie obrábění	49
5.6 Sestavení nového technologického postupu	52
6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	55
ZÁVĚR	61
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	62
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	69
SEZNAM PŘÍLOH.....	73

ÚVOD

Dnešní moderní doba vyžaduje čím dál větší nároky na firmy ohledně kvality, rychlosti dodání, a ceny výrobku. Pro některé firmy se výroba přesných součástí ve vlastím závodu nevyplatí, ať už je to z důvodu nedostatečného vybavení nebo skrze finanční stránku. Takové firmy si nechávají součásti vyrábět u subdodavatelských firem jako jsou například Znojemské strojírny s r.o. [1].

Cílem do budoucnosti je neustálé zdokonalování stávajících technologií, snižování strojních časů, optimalizace řezných podmínek apod. Tato práce je zaměřena na zvýšení produktivnosti a hospodárnosti ve spolupráci s výše zmíněnou subdodavatelskou firmou Znojemské strojírny s r.o. Součást typu příruba je vyráběna pomocí CNC obráběcího centra a jsou zde zastoupeny technologie frézování, vrtání a výroba závitů. Zadaný obrobek má navíc více různých modifikací a alternativ. Případná vylepšení a dosažení zisku mohou být aplikována na všechny tyto varianty obrobku.

Příruba je vyráběna z tvářené hliníkové slitiny EN AW 6082 pro všeobecné použití. Dle IAI (International Aluminium Institute) byla celosvětová výroba primárního hliníku za rok 2018 zhruba 64,3 milionu tun hliníku. To je zhruba o 10 % více než například v roce 2015. Hliníkové slitiny se ve strojírenství využívají díky svým specifickým vlastnostem. Nejvýznamnějším odvětvím je letecký a automobilový průmysl [2].

1 CHARAKTERISTIKA VÝROBNÍCH TECHNOLOGIÍ

Výrobní proces zadané součásti je složen z několika operací na jednotlivých pracovištích. Nejprve dochází k dělení tyčového, kruhového polotovaru na pásové pile. Poté je dílec obroben na CNC obráběcím centru. Výroba závitů se odehrává na pracovišti s konvenčními stroji. Nezbytná kontrola na 3D měřicím centru. Případné ostřiny se odjehlí na ručním pracovišti brusným kotoučem. Součást se následně vypere ve vodě smíchané se saponátem a putuje do balírny, kde je zakonzervována, zabalena a vyexpedována.

Při výrobě součásti je použito několik technologií z oblasti třískového obrábění. Výrobní proces zahrnuje technologie frézování, vrtání a výrobu závitů. Výroba závitů nemusí být nutně z oblasti třískového obrábění. Závit lze vyrobit i pomocí tvářecích procesů. Popis jednotlivých použitých metod třískového obrábění je popsán v následujících kapitolách.

1.1 Technologie frézování

U technologie frézování je materiál odebírán vícebřitým nástrojem, frézou. Hlavním pohybem při frézování je vždy pohyb rotační a koná jej nástroj. Vůči tomuto hlavnímu pohybu koná obrobek pohyb vedlejší, který je posuvný. Změnu polohy obrobku zajišťuje obvykle stroj, frézka. Změnu polohy lze uskutečnit v několika osách [1, 2, 4, 5].

Moderní CNC (Computer Numerical Controlled) stroje podporují posuv vřetena s nástrojem po naprogramované dráze v libovolném směru. Pětiosá frézovací centra umožňují uskutečnit posuv vřetene či stolu ve všech 3 osách současně a k tomu současně rotovat kolem dalších dvou os. Díky tomu lze vyrábět obecné plochy a pohyb je možné uskutečnit po libovolné křivce. Moderními obráběcími stroji je možné obrábět otvory, dutiny, závitů či povrchy, které byly dříve soustruženy apod. To vše na jedno upnutí. Tím se snižuje nepřesnost obrábění. Vzhledem k neustálým inovacím ve výrobě CNC strojů, ale i nástrojů, lze technologii frézování zařadit mezi nejuniverzálnější a nejkomplexnější metody obrábění [4, 5, 7].

Během řezného procesu odřezává každý zub nástroje určitý objem kovu – třísku, která nabývá proměnné tloušťky. Řez je tedy přerušovaný a při styku zubu s obrobkem dochází k rázovému zatížení. V průběhu řezného procesu dochází k měnícím se řezným silám a tepelným šokům, způsobeným vnikáním do a z materiálu. Naopak odpadá problém s utvářením a odvodem třísek [4, 9].

1.1.1 Kinematika frézování

Řezná rychlost v_c vyjadřuje okamžitou rychlost hlavního pohybu uvažovaného bodu na ostří vzhledem k obrobku. U běžného frézování hliníkových slitin se řezná rychlost pohybuje v rozmezí 1 000–5 000 m/min. Tyto hodnoty jsou však pouze orientační. Výsledná volba řezné rychlosti záleží na druhu hliníkové slitiny (chemickém složení), na druhu frézování (hrubování či dokončování), výkonu stroje, volbě nástroje apod. Hodnota řezné rychlosti v_c je následující podle vzorce 1.1 [1, 2, 12,]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m/min]} \quad (1.1)$$

Posuvová rychlost v_f znázorňuje okamžitou rychlost posuvového pohybu v uvažovaném bodě ostří vzhledem k obrobku. Tato rychlost je závislá na druhu zvolené frézy, hodnotě posuvu na zub f_z a počtu zubů frézy z . Posuv na zub je hodnota, kterou se vypočte posuv stolu a je vypočtena z doporučené hodnoty maximální tloušťky třísky. Posuv na otáčku f_n vyjadřuje, o jakou vzdálenost se nástroj posune za jednu celou otáčku. Tyto vztahy jsou vypočteny dle vztahů 1.2 až 1.3 [1, 2, 6].

Výpočet rychlosti posuvu v_f je spočten dle vztahu 1.2 [1]:

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \text{ [mm/min]} \quad (1.2)$$

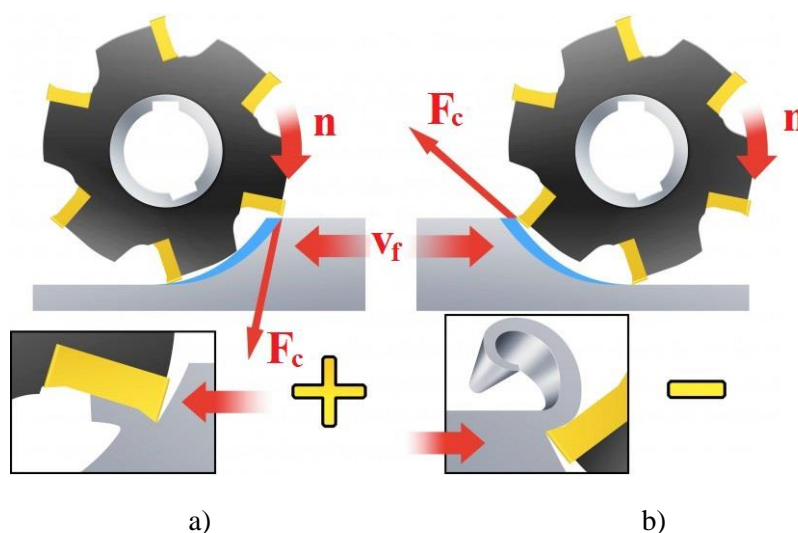
Vztah pro výpočet posuvu na otáčku f_n je dle vzorce 1.3 [1]:

$$f_n = f_z \cdot z \text{ [mm]} \quad (1.3)$$

1.1.2 Rozdělení frézování

Z pohledu technologie a závislosti na použitém nástroji je možné rozčlenit frézování na dvě základní skupiny. Válcové a čelní. V praxi se hojně využívá kombinace válcového a čelního frézování, tedy válcové čelní. Z těchto základních skupin lze odvodit frézování okružní a planetové [2, 5].

Válcové frézování lze dle kinematiky dále rozdělit na sousměrné (sousedné) a nesousměrné (nesousedné), viz obr. 1.1. Výhody těchto způsobů frézování jsou shrnuty v tabulce 1.1.



Obr. 1.1 Schéma: a) sousledného; b) nesousledného frézování [7].

Frézuje-li se na víceosém obráběcím centru, kde může konat hlavní i vedlejší pohyb nástroj, tak při sousledném frézování se nástroj posouvá se směrem jeho rotace (proti směru posuvu obrobku). Obrobek, který je vtahován pomocí řezných sil pod frézu, drží břit v záběru. Tloušťka třísky se snižuje od začátku do konce řezu, kde je nulová [1, 2, 4].

U nesousledného frézování je tomu naopak. Směr posuvu nástroje je opačný než směr jeho rotace. Tloušťka třísky nabývá od nulové hodnoty po maximální. To vede k hladicímu efektu, velkému tření a tím i ke vzniku vysokých teplot. Obrobek je pomocí řezných sil vytahován z upnutí [2, 4].

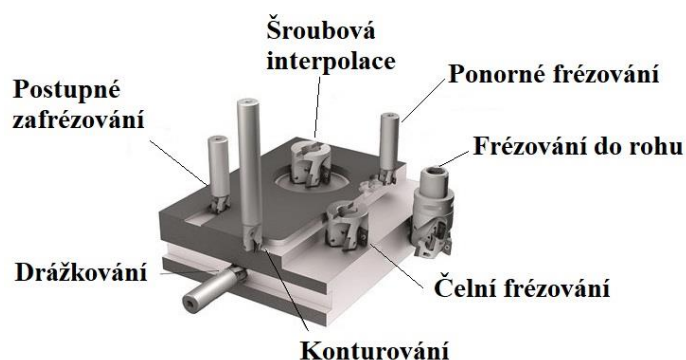
Tab. 1.1 Výhody sousledného a nesousledného frézování [2, 11].

Sousledné	Nesousledné
vyšší trvanlivost břitu → vyšší řezné rychlosti	menší opotřebení šroubu a matice
potřebný menší řezný výkon	při rozdílné velikosti přídavek na obrábění
použití jednodušších upínacích přípravků	při použití keramických VBD (citlivost na rázy při vstupu do řezu)
menší náchylnost ke chvění	
nižší hodnota drsnosti obrobeného povrchu	odpadá nutnost vymezení vůle mezi posuvovým šroubem a maticí stolu stroje
menší sklon ke tvorbě nárůstku	

Čelní frézování pracuje s břity, které jsou situovány po obvodu i čele nástroje. Současně probíhá frézování sousledné i nesousledné. Vzhledem k ose obráběné plochy a ose nástroje lze zároveň rozdělit na symetrické a nesymetrické [5].

Dále lze rozdělit dle [4] frézování podle hlavního typu operace, účinku na součást a dle dráhy nástroje. Jednoduché schéma s několika příklady je na obr. 1.2.

- rovinné frézování
- čelní frézování do rohu
- kopírování
- frézování dutin
- frézování kotoučovou frézou
- rotační frézování
- frézování závitů
- dělení materiálu
- frézování s vysokým posuvem
- ponorné frézování
- zahlubování
- šroubovicová interpolace
- kruhová interpolace
- odvalovací frézování



Obr. 1.2 Výběr hlavních technologických strategií frézovacích operací [13].

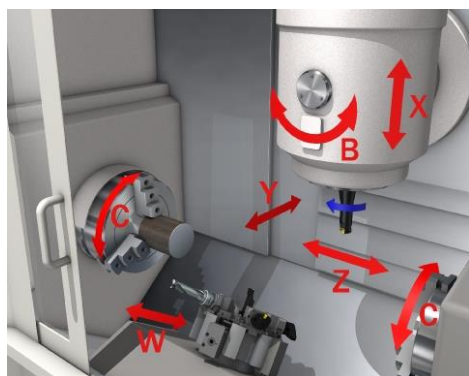
1.1.3 Frézovací stroje a nástroje

Fréza je rotační nástroj s více břity. Vzhledem k univerzálnosti technologie frézování lze rozdělit frézy do několika kategorií na základě námi volených kritérií viz tab. 1.2. Dnešní moderní doba přikládá stále větší důraz na vývoj nových nástrojů za účelem zvýšení hospodárnosti, efektivity, vyšší trvanlivosti nástroje a samozřejmě vyšších zisků. U složitých součástí je předepsána různá kvalita obrobeneho povrchu na různých plochách. Vylepšení může být například konstrukční nebo materiálové včetně nanášení nejrůznějších povlaků apod. Nejvíce inovací se týká samotné geometrie nástroje jako například stoupání šroubovice frézy, geometrie břitu apod. Vývoj nástrojů jde ruku v ruce s vývojem strojů [14].

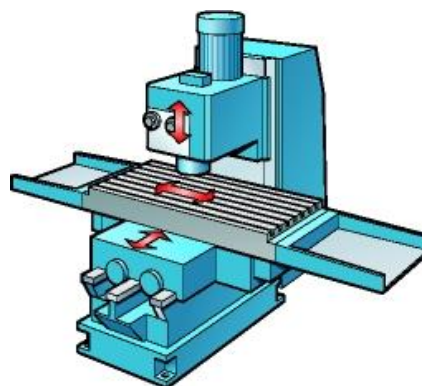
Frézy jsou upnuty do vřetena stroje skrze upínače. Upínání fréz hraje klíčovou roli při obrábění. Nástroje s kuželovou stopkou lze upnout přímo do vřetena stroje nebo za použití redukce. Frézy s válcovou stopkou jsou upnuty pomocí kleštiny. Další možností je tepelný upínač, hydraulický nebo polygonální. Všechny by měli splňovat následující požadavky [5, 16, 17]:

- pevnost v ohybu,
- dynamické vyvážení,
- vysoké upínací síly k přenosu kroutícího momentu,
- přesné upnutí s minimálním házením,
- tlumení vibrací,
- schopnost přivádět řeznou kapalinu,
- jednoduchost upnutí a odepnutí.

Obráběcí stroje, lze rozdělit do několika hlavních skupin: **konzolové, rovinné, stolové, speciální frézky a moderní víceosá obráběcí centra**. Při výběru dané frézky jsou brány ohledy například na velikost upínací plochy stolu, velikost kužele ve vřetenu, rozsah otáček vřetene a s tím spojený výkon motoru stroje [4, 5, 16, 17].



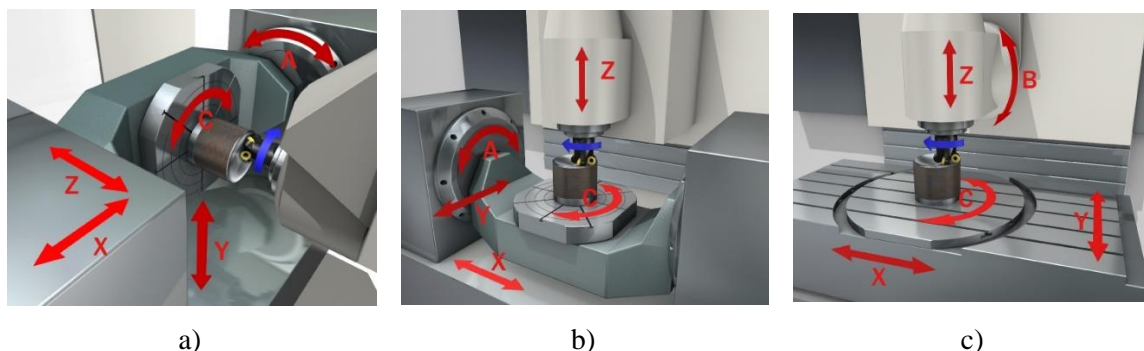
a)



b)

Obr. 1.3 Srovnání obráběcích strojů [18]: a) pětiosé víceúčelové obráběcí centrum, b) konvenční tříosá frézka.

Neustálé zvyšování nároků na součásti jako je konstrukční složitost a členitost, přesnost dílce (co nejvíce operací na jedno upnutí), geometrické tolerance, integrita povrchu, má za následek nahrazení klasických konvenčních strojů moderními víceúčelovými CNC stroji. Náklady na pořízení a údržbu jsou značně vysoké, avšak návratnost bývá obvykle do několika let, záleží na využitelnosti stroje. Konstrukce CNC strojů může být různá. Uspořádání řídicích os a polohy vřetena dává širokou škálu využití viz obr. 1.4 [7, 20].



Obr. 1.4 Rozložení pohybů CNC obráběcího centra [18, 39]: a) horizontální obráběcí centrum 5-osé, b) vertikální obráběcí centrum s pátou A-osou, c) vertikální obráběcí centrum s pátou B-osou.

Obecně lze říci, že inovace číslicově řízených strojů určují hlavně letecký a automobilový průmysl, kde je využití nejvyšší. Dále například výroba implantátů v medicínském odvětví anebo energetický průmysl, kde se obrábí těžkoobrobitelné materiály. Hlavní směry vývoje jsou následující [19]:

- vysokorychlostní (HSC), suché a tvrdé obrábění,
- růst posuvových (HFC) a manipulačních rychlostí,
- růst řezných výkonů (HPC),
- zvyšování pracovní přesnosti,
- aktivní kontrola a diagnostika,
- zvyšování teplotní, statické a dynamické stability,
- uživatelská přívětivost.

Nejvíce rozvíjející se skupinou jsou dnes multifunkční obráběcí centra. Tyto stroje jsou odvozeny z CNC soustružnických a frézovacích center a kombinují dvě hlavní technologie. Je to frézování a soustružení, přičemž ani jedna technologie není dominantní jako je tomu u klasických obráběcích center (frézovacích či soustružnických). Provádět lze samozřejmě i další úkony jako je vrtání či výroba závitů [20].

Tab. 1.2 Rozdělení frézovacích nástrojů [5, 15].

Rozdělení nástrojů dle:		
Umístění zubů na nástroji	válcové	
	čelní	
	válcové čelní	
	kotoučové	
	úhlové jednostranné	
	úhlové oboustranné	
	tvarové	
Průběhu ostří vůči ose rotace	s přímými zuby	
	se šikmými zuby	
	se zuby ve šroubovici	pravotočivá šroubovice
		levotočivá šroubovice
Nástrojového materiálu	rychlořezná ocel	
	slinutý karbid	
	řezná keramika	
	cermet	
	supertvrde řezné materiály	PKD
		PKNB
Konstrukce	celistvé – monolitní	
	s vkládanými zuby (VBD)	
	složené – z vícero fréz	
	dělené	
Způsobu upnutí	nástrčné	
	stopkové	válcová stopka
		kuželová stopka
Tvaru zubu frézy	zuby frézované	lomená hřbetní plocha
		jednoduchá hřbetní plocha
	zuby podtáčené	podbroušením
		podsoustružením
	odlévané zuby	
Smyslu rotace	pravořezné	
	levořezné	
Počtu zubů na průměr frézy	jemnozubé	
	polohrubozubé	
	hrubozubé	

Upnutí obrobku probíhá na pracovním stole frézky, kde jsou T-drážky. K upnutí slouží nejrůznější přípravky jejichž princip může být: **mechanický, hydraulický, pneumatický, elektromagnetický**. Součást musí být upnuta dostatečně pevně, aby nedošlo k posunutí nebo uvolnění obrobku. Zároveň nesmí být upínací síla příliš velká, aby obrobek nedeformovala.

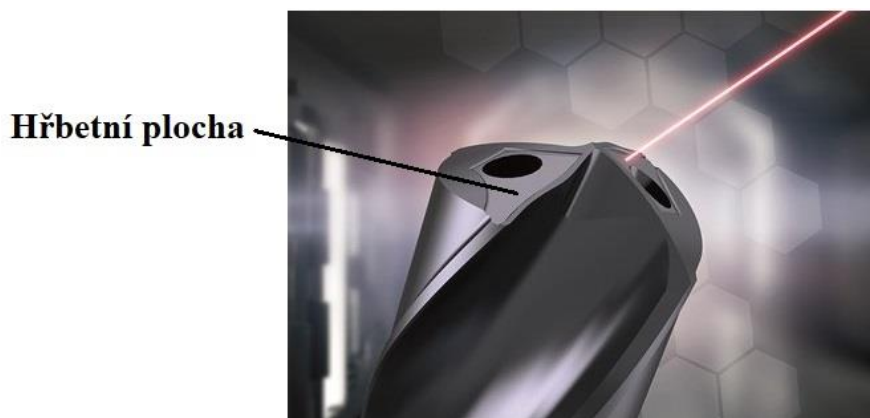
Upínají-li se větší obrobky, používají se upínací pomůcky jako upínky, podpěry, opěrky apod. K upínání menších obrobků se používají různé druhy strojních svěráků (pevné, otočné, sklopné, prizmatické apod.). Při upínání složitějších součástí se využívá speciálních frézovacích přípravků [5, 21, 22].

1.2 Technologie vrtání

Příruba také obsahuje technologii výroby děr. Vrtat lze do plného materiálu, což je nejběžnější metoda, nebo je možno zvětšovat již předpracované díry. Tato metoda se nazývá vyvrtávání. Další operace související s vrtáním jsou například navrtávání, zahlubování, vystružování, vrtání na jádro, vrtání do plechu apod. Zahlubováním se rozumí odebrání materiálu speciálním nástrojem za účelem zvětšení rozměru po obvodu dané díry. Vrtat lze průchozí i neprůchozí díry [4, 5].

Tento technologický proces lze rozdělit na vrtání krátkých děr, kdy je poměr průměru vrtané díry D a délky díry L v rozmezí od $1/5$ do $1/10$. V případě hlubokých děr je poměr těchto dvou veličin větší jak $1/10$. Uvádí se, že hloubka díry může být až stopadesátinásobek průměru vrtáku ($150D$) [5, 24].

Odvod třísek z místa řezu je hlavní problém při procesu vrtání. Zasekne-li se tříska během obrábění v otvoru, může dojít k poškození nástroje (vrtáku) a také kvality vrtané díry. Zefektivnění odvodu třísek a tím i vyšší kvalitu vrtané díry a životnost nástroje je docíleno pomocí procesní kapaliny. Ta je přiváděna do místa řezu vnější cestou nebo vnitřně pomocí kanálků uvnitř nástroje. Procesní kapalina je pak během rezného procesu vytlačována ke špičce vrtáku a tím maže, chladí a usnadňuje odchod třísky. Vrtání bez přivodu rezné kapaliny není obecně doporučováno. Také geometrie nástroje hraje velkou roli při utváření třísky [4, 24].



Obr. 1.5 Příklad vytvořené struktury na hřbetní ploše nástroje laserovým paprskem [27].

1.2.1 Kinematika vrtání

V procesu vrtání a všech jejích přidružených operacích jako je zahlubování, vystružování atd., je hlavní pohyb rotační a koná ho nástroj. Hlavní pohyb je kombinován s lineárním posuvem, což je pohyb vedlejší a koná ho taktéž vrták. Osa nástroje je většinou kolmá k obráběné ploše, ale není to pravidlem. Obrobek může konat hlavní pohyb, jde-li o vrtání na soustruhu [4, 5].

Řezná rychlost v_c , je vztažena k obvodové rychlosti nástroje a závisí na průměru a otáčkách vrtáku. Problémem u vrtání je skutečnost, že řezná rychlost plynule klesá od obvodu vrtáku až do jeho středu, kde nabývá nulové hodnoty. Řezné rychlosti se pohybují okolo desítek m/min, avšak u vrtání například hliníkových slitin firma Sandvik Coromant uvádí pro svůj nástroj řeznou rychlost až 300 m/min (průměr vrtáku 6,6 mm) [1, 4, 5, 25].

Hlavní složkou určující produktivitu vrtání je posuvová rychlost v_r , která je dána posuvem na otáčku f_n a otáčkami vrtáku n . Vrtáky firmy SECO Tools u svých produktů označených Feedmax P nabývají hodnoty v řádech jednotkách tisíců mm/min. Nutno dodat, že se jedná o obráběné materiály ISO P, tedy oceli. Posuvová i řezná rychlost se vypočtou dle vztahu 1.4 a 1.5 [1, 4, 5, 26].

Vztah pro výpočet řezné rychlosti [1]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_c \cdot n}{1000} \text{ [m/min]} \quad (1.4)$$

Posuvová rychlost se vypočte následovně [1]:

$$v_f = f_n \cdot n \text{ [mm/min]} \quad (1.5)$$

1.2.2 Vrtací stroje a nástroje

Nástroje pro vrtání mají přesně definovanou geometrii. Ta se mění s ohledem na obráběný materiál. Rozdělení vrtáků je v tab. 1.3. Při výběru vrtáku lze užít následující postup [4]:

- 1) rozměry vrtané díry (průměr a hloubka), kvalita obrobeného otvoru,
- 2) typ vrtáku (monolitní nebo s VBD, dokončování či hrubování), materiál obrobku,
- 3) geometrie vrtáku a samotného ostří, třída karbidu apod.,
- 4) zvolit typ upínání (typ stopky).

Tab. 1.3 Rozdělení vrtáků dle různých kritérií [5, 15].

Rozdělení vrtáků:	
Ploché	kopinaté
Šroubovité (nejvíce zastoupené)	válcová stopka
	kuželová stopka
	plochá stopka
	čtyřhranná stopka
	tvarová stopka
Pro hluboké díry	prodloužené šroubovité vrtáky
	ploché
	hlavňové, dělové vrtáky
	ejektorové
	vrtací systémy BTA (Boring and Trepanning Association)
	vrtací korunky
	trepanační vrtáky
Pro tvarové vrtání	ploché vrtáky
	šroubové osazené
	pro středící otvory
	speciální a kombinované
Vyvrtávací tyče a hlavy	
Dle konstrukce	monolitní celistvé
	s vyměnitelnou špičkou
	s vyměnitelnými břitovými destičkami
Do plechu	šírokorozsahový
	odstupňovaný
Termální vrták	

Geometrie moderních vrtáků rapidně zvýšily trvanlivost nástroje a zlepšily řez. Trvanlivost u vrtáku ze slinutého karbidu může být až 20x delší než při použití nástroje z rychlořezné oceli. Kvalita povrchu, při použití speciálních šroubovitých vrtáků ze slinutého karbidu, dosahuje drsnosti povrchu R_a (střední aritmetická úchylka profilu povrchu) až 1 mikrometr. Nejedná se tedy čistě o hrubovací operaci jako tomu bylo dříve. Mnohdy je vrtání finální operací [4].

Vrtání, ale i zahlubování, vystružování apod., se uskutečňuje na vrtačkách po případně na vyvrtávačkách či na soustruhu. Obráběcí centra jsou samozřejmostí. Klasické vrtačky lze rozdělit podle stavby na ruční, sloupové, stojanové, stolní, otočné, vodorovné na hluboké díry a na speciální [5].

1.3 Technologie výroby závitů

Závity jsou nedílnou součástí strojírenství plnící spojovací či pohybové funkce. Tento konstrukčně-technologický prvek patří k nejnáročnějším úkonům výrobního procesu. Často se realizují až na samém konci výrobního postupu, což vyžaduje vysoké nároky na spolehlivost operace [5, 28, 29, 30, 31].

Závit je charakterizován několika parametry. Je to profil závitu (metrický apod.), stoupání, tolerance, počet chodů. Jedná-li se o pravý či levý, vnitřní nebo vnější závit.

Závity lze vyrobit různými metodami. Nejčastěji se využívá metoda obrábění, mezi které patří například frézování, soustružení, broušení, řezání závitníkem. Další metoda je tvářecí. Zde jsou zastoupeny technologie válcování či výroba tvářecím závitníkem. Jednotlivé výrobní metody jsou voleny dle celé řady kritérií jako například požadovaná kvalita závitu, druh materiálu, druh závitu, velikost výrobní dávky, konstrukční hledisko (vnitřní, vnější, pravý, levý), druh stroje, na kterém je závit vyráběn. V úvahu je bráno i to, zda jde o slepý či průchozí otvor. Existují různé druhy závitů. Nejčastěji používaným je závit pro všeobecné použití (metrický). Dále například pro přenos pohybu (lichoběžníkový závit), trubkové (Whitworthův závit), závity protipožární a pro potravinářské systémy (oblý) [28–31].



Obr. 1.6 Schéma různých metod výroby závitu [29].

Chlazení a mazání při řezání závitů má vliv na jeho výslednou kvalitu, trvanlivost nástroje a v neposlední řadě na odvod třísek. Přívod řezné kapaliny může být vnitřní či vnější. Vnitřní přívod kapaliny má vždy přednost, protože napomáhá odvodu třísek (zejména dlouhých) a prodlužuje trvanlivost nástroje. Vnější přívod je nejčastějším způsobem. Používá se tam, kde tvorba třísky nevytváří problémy. Řezné kapaliny mohou být například na bázi emulzí s minerálními oleji, polosyntetické řezné kapaliny nebo čisté oleje [28–32].

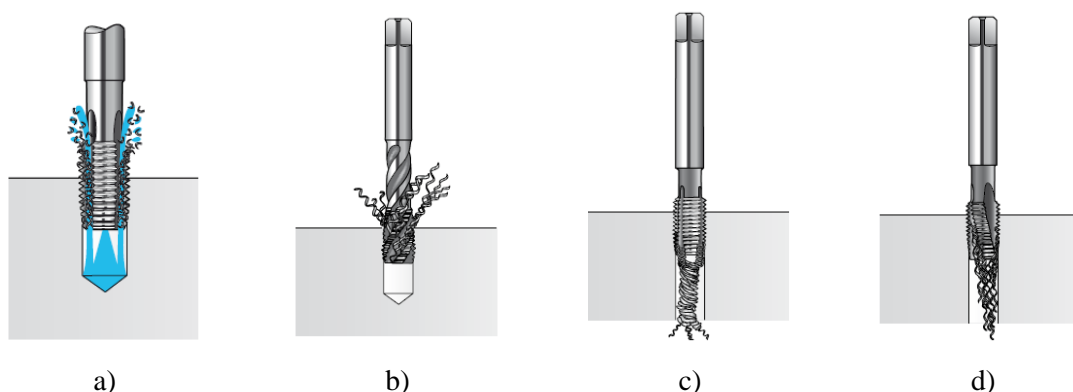
Při výrobě závitů se lze setkat s vytvrzenou okrajovou vrstvou. Ta je způsobena předchozí operací vrtání. Vlivem opotřebení vrtáku stoupá tvrdost povrchu obráběného materiálu. Přestože je vzdálenost změny struktury od povrchu velmi malá, trvanlivost závitníku rapidně klesá. Životnost nástroje je až 5krát vyšší při použití nového vrtáku oproti opotřeбенému [28, 29].

Následující podkapitoly jsou zaměřeny na popis, výhody a nevýhody metod frézování závitu, řezání závitníkem a výroby tvářecím závitníkem.

1.3.1 Výroba závitů řezáním pomocí závitníku

Metoda je určena pro výrobu vnitřních závitů. Dochází zde k odřezávání materiálu a vznik jednotlivých třísek. U této metody je rozhodující typ díry (zda se jedná o slepý nebo průchozí otvor), materiál obrobku (jestli tvoří krátkou či dlouhou třísku). Jde o snadnou výrobu závitu s poměrně vysokou produktivitou a kvalitou [28–31].

Existují různé druhy závitníků. Závitník pro slepý otvor a materiál tvořící krátkou třísku má přímou drážku obr. 1.7. a), která neodvádí třísku. Vnitřní přívod kapaliny snáze odvádí třísku, která se pak neusazuje na dně otvoru. Nástroj je vhodný pro krátké díry. Závitník, který má pravotočivou šroubovici je určený pro materiály tvořící dlouhou třísku a pro slepé otvory. Tříska je odváděna šroubovicí směrem ke stopce. Úhel šroubovice je tím větší, čím je závit hlubší a materiál houževnatější, obr. 1.7 b). Pro průchozí otvory a dlouhé třísky jsou určeny závitníky s lamačem třísek a s náběhem. Tyto nástroje mohou být s levotočivou šroubovicí, která odvádí třísky dopředu ve směru posuvu obr. 1.7 d), nebo s přímou drážkou 1.7 c) [28–31].

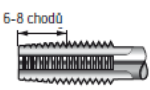
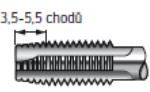
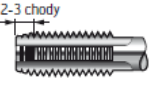
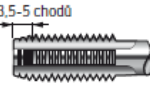
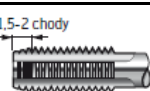
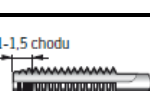


Obr. 1.7 Schéma užití řezacích závitníků: a) pro krátké třísky a slepý otvor, b) pro dlouhé třísky a slepý otvor, c), d) pro dlouhé třísky a průchozí otvor [28].

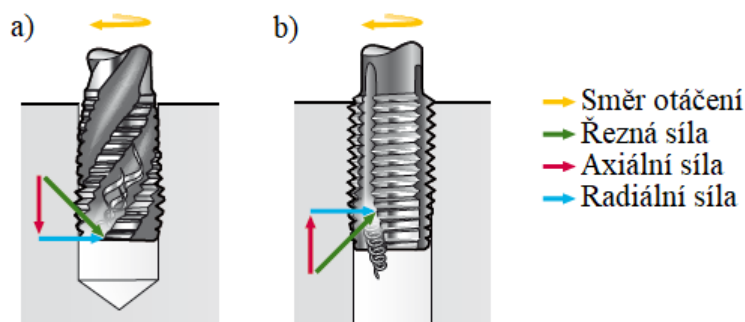
Náběhy u závitníků hrají velkou roli při výrobě závitů. Řezný kužel (náběh) je zkosení vrcholů profilu závitu na nástroji umožňující rozložení záběru na několik zubů. Volba náběhu je dána typem díry. Obecně se delší tvary náběhů používají pro průchozí otvory. Dlouhý řezný kužel má za následek zvýšení životnosti, vyšší krouticí moment, kratší průřez třísky a nízké zatížení náběhových zubů (výhoda u pevnějších materiálů). Kvalita obrobené plochy je u tohoto náběhu vysoká. U krátkého náběhu je krouticí moment nízký, životnost je snížena, je zde velký průřez třísky [28–32].

Schéma jednotlivých náběhů a jejich využití je v tab. 1.4.

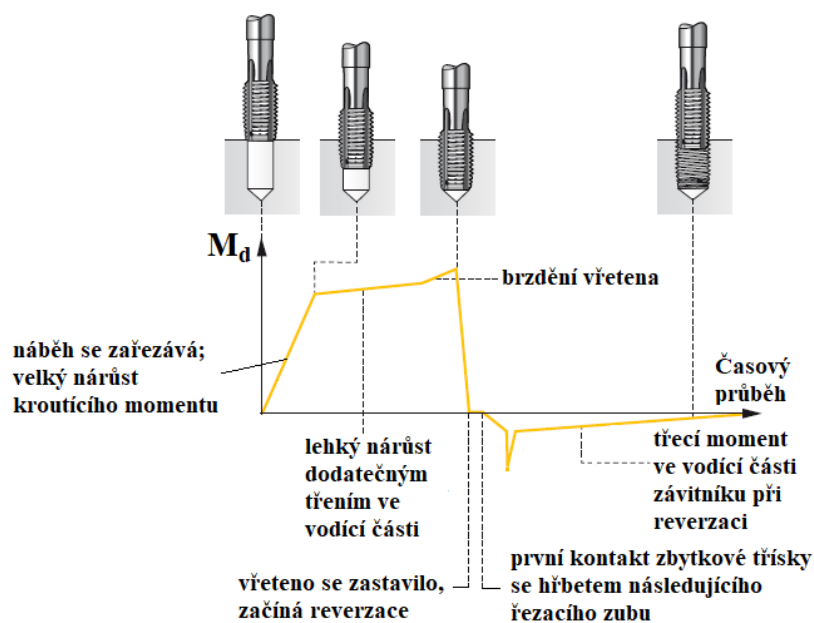
Tab. 1.4 Jednotlivé tvary náběhů a jejich užití [28].

Tvar A		přímé drážky	materiály s krátkou třískou
			krátké průchozí závity, středně až dlouhá tříska
Tvar B		přímé drážky s lamačem s náběhem	materiály se středně a dlouhou třískou
Tvar C		pravá šroubovice	materiály se středně a dlouhou třískou
		přímé drážky	materiály s krátkou třískou
Tvar D		pravá šroubovice	materiály s dlouhou třískou
		přímé drážky	materiály s krátkou třískou
Tvar E		pravá šroubovice	krátký výběh závitu (dlouhá tříska)
		přímé drážky	krátký výběh závitu (krátká tříska)
Tvar F		pravá šroubovice	velmi krátký výběh závitu (dlouhá tříska)
		přímé drážky	velmi krátký výběh závitu (krátká tříska)

Další aspekty při výrobě závitů jsou řezné síly a kroutící moment. Při řezání závitu nástrojem s pravotočivou šroubovicí vzniká axiální síla působící ve směru posuvu. U nástroje s lamačem s náběhem působí vzniklá axiální síla proti směru posuvu viz obr. 1.8. Při vytváření závitu do slepé díry je průběh kroutícího momentu znázorněn na obr. 1.9. Zde lze vidět velký nárůst kroutícího momentu vlivem zařezávání náběhu. Následuje lehký nárůst momentu kvůli tření ve vodící části. Poté se vřeteno zastaví a dochází ke kontaktu třísky se hřbetem následujícího řezacího zubu. Jako poslední je třecí moment ve vodící části závitníku při reverzaci [29].



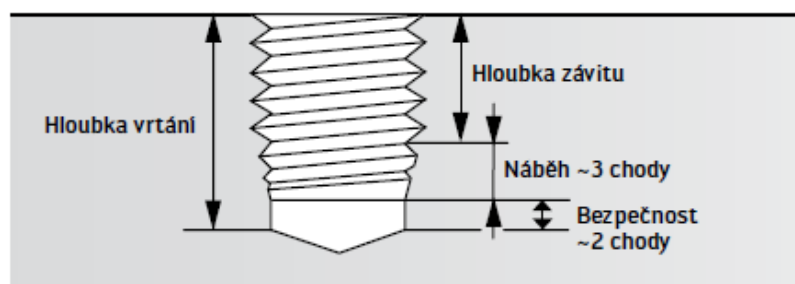
Obr. 1.8 Síly působící během řezání závitu a) s pravotočivou šroubovicí, b) s lamačem a s náběhem [29].



Obr. 1.9 Průběh krouticího momentu během řezání závitu do slepé díry dle [29].

Hloubka vrtané díry v předchozí operaci je klíčová, neboť na ní závisí hloubka závitu. Obecný vztah lze zapsat následovně viz obr. 1.10 [28, 29]:

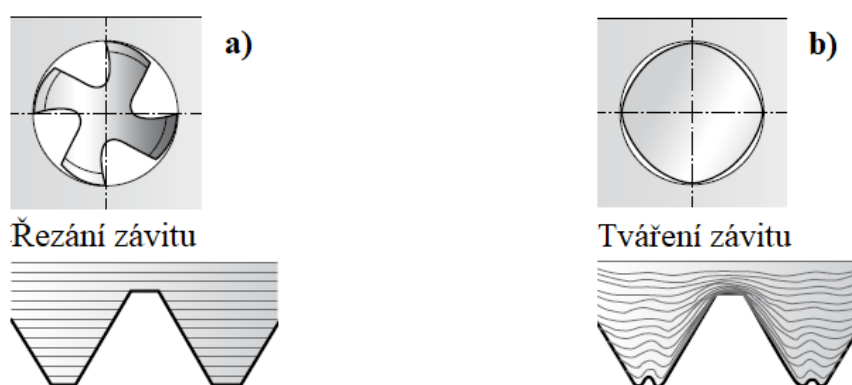
Hloubka vrtání \geq využitelná hloubka závitu (+ délka náběhu) + bezpečná vzdálenost



Obr. 1.10 Schéma hloubky vrtané díry [28].

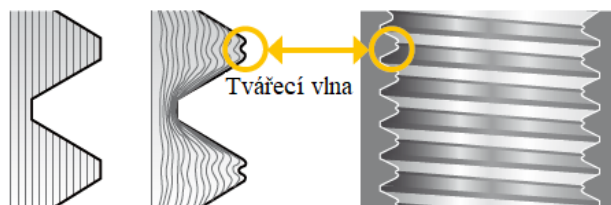
1.3.2 Výroba závitů pomocí tvářecího závítníku

Tato metoda je rovněž určena k vytváření vnitřních závitů. Nesmírná výhoda této techniky spočívá v tom, že se netvoří žádné třísky. Je tak menší pravděpodobnost poškození nástroje a samotného závitu. Materiál je tvářen za studena, není odřezáván (viz obr. 1.11), tím se zvyšuje pevnost závitu během statického zatížení až o 20 %. Další přednost je vysoká kvalita závitu díky tlaku působícím na drážky. Při výrobě jsou použity vyšší tvářecí rychlosti oproti řezným rychlostem. Tento způsob výroby závitů má i značné nevýhody. Vyšší je krouticí moment, a to až o 30 %. Díky tomu lze vyrábět závity přibližně do velikosti M20. Omezení je i v materiálu. Ten musí mít tažnost alespoň 8 % a pevnost v tahu nesmí převyšovat 1 200 MPa [28, 29, 33].



Obr. 1.11 Rozdíl mezi a) řezaným a b) tvářeným závitem [28].

Existují odvětví, kde je tato metoda zcela zakázána nebo velmi omezena. Důvodem je vznik tvářecí vlny obr. 1.12 v oblasti vrcholu. Jedná se o potravinářský průmysl a medicínskou techniku, či letecký průmysl. Všeobecně je tváření závitů doporučeno pro hromadnou výrobu například v automobilovém průmyslu. Velmi vhodné je použití pro hliníkové slitiny. Omezení je u slitin hliníku slévarenského typu, kde obsah křemíku musí být menší než 10 %. Obecně je tento způsob výroby závitů upřednostňován před ostatními metodami [28, 29, 33].



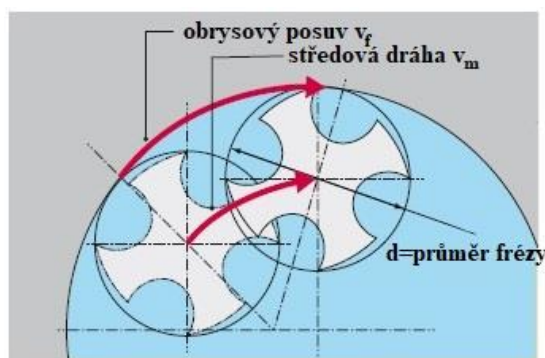
Obr. 1.12 Schéma tvářecí vlny [28].

Mazání během tváření je dvojího druhu. Tvářecí nástroje s mazacími drážkami a tvářecí nástroje bez mazacích drážek. Volba je závislá na parametrech jako je hloubka závitu, jedná-li se o průchozí nebo neprůchozí otvor apod. Hloubka vrtaného otvoru je stejná jako u předchozí metody, viz obr. 1.9 [28, 29].

1.3.3 Frézování závitu

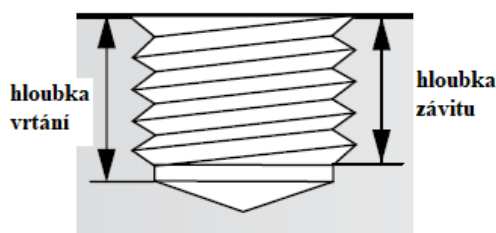
Základní rozdíl této metody oproti řezání závitníkem je, že nástroj vytváří stoupání cirkulárním programem CNC stroje (šroubová interpolace). Šroubová interpolace se skládá z kruhového a lineárního pohybu nástroje. Závitová fréza je osazena zuby, které jsou seřazené s určitou roztečí. Nemají tedy profil závitu ve šroubovici. Jedná se o velice efektivní metodu, protože ji lze použít téměř pro všechny materiály tvořící dlouhou i krátkou třísku. Při frézování vzniká krátká tříska, proto je její odvod bezproblémový. Další výhodou je multifunkčnost nástroje. Jednou frézou lze vyrobit závit vnější i vnitřní, levý i pravý a také různé velikosti. Nevýhodou jsou vyšší náklady na nástroj oproti závitníkům. V neprospěch hrají i delší výrobní časy, pokud má být dodržena jistá kvalita [28, 29].

Při procesu výroby může být využito sousledné či nesousledné frézování. Důležitou roli zde hraje určení hodnoty posuvu. Posuv nástroje může být po jeho ose nebo po obvodu, obr. 1.13. Posuvem nástroje je vždy myšlen posuv středu nástroje, proto je potřeba posuv frézy snížit (u vnitřního závitu, u venkovního je tomu naopak) [28].



Obr. 1.13 Schéma rozdílného posuvu nástroje [28].

Mazání u této techniky se nedoporučuje. Hloubka vrtané díry je téměř totožná s hloubkou závitu, neboť při jeho frézování dojde nástroj až na dno otvoru obr. 1.14.

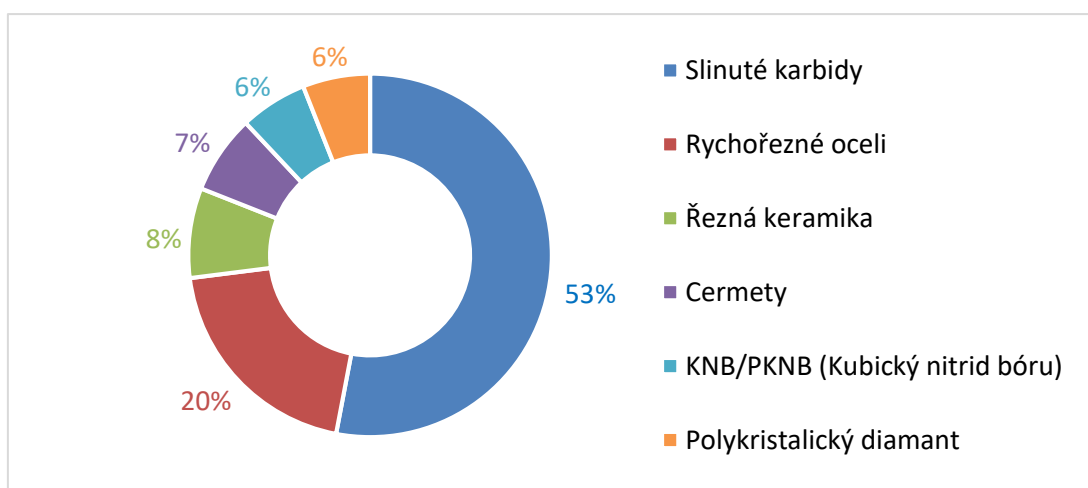


Obr. 1.14 Srovnání hloubky vrtané díry a hloubky závitu u frézování [28].

Dalším důležitým aspektem je vjezd do záběru (narolování). Narolování má vliv na potlačení chvění nástroje a také prodlužuje jeho trvanlivost. Jedná se o pozvolné najetí do řezu při frézování šroubovou interpolací. Pozvolné najetí a malá tloušťka třísky na výstupu z řezu je způsobena přidáním jednoho kruhového cyklu navíc [32].

2 CHARAKTERISTIKA ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ

Zastoupení řezných materiálů na trhu se již několik let nemění. Ani v blízké budoucnosti není náznak objevení zcela nového řezného materiálu. Trendy a inovace se zaměřují na povrchové úpravy a povlakování. Je-li brána v potaz hospodárnost a produktivita, volba řezného materiálu hraje klíčovou roli. Neexistuje řezný materiál, kterým lze obrábět všechny materiály. Souhrn a vyráběný objem nástrojových materiálů je na obr. 2.1 [1, 35, 38, 39].



Obr. 2.1 Přehled nástrojových materiálů současnosti [37, 38].

Požadavky kladené na nástrojové materiály jsou vysoké. Především se jedná o vysokou tvrdost, odolnost proti opotřebení, dobrou tepelnou vodivost, houževnatost a pevnost v ohybu. Tyto vlastnosti jsou vyžadovány po co nejdelší dobu a za pracovních teplot. Při procesu řezání vzniká značné množství tepla. Toto teplo negativně ovlivňuje řezné vlastnosti nástrojového materiálu. Volba nástrojového materiálu je závislá především na [1, 35, 39]:

- druhu obráběného materiálu, rozměru obrobku a sériovosti,
- obráběcím stroji,
- požadavku na kvalitu obrobeného povrchu,
- druhu a tvaru řezu (chlazení a mazání, přerušovaný či kontinuální řez apod.),
- technologii výroby polotovaru (odlitek, výkovek apod.),
- odolnosti proti opotřebení.

2.1 Řezné materiály pro obrábění hliníkových slitin

Vzhledem k obráběné součásti, která je ze slitiny hliníku, je kapitola zaměřena pouze na popis slinutých karbidů (SK) a polykrystalického diamantu (PKD). Díky rostoucímu podílu aplikací hliníkových slitin v dopravní technice, je vidět nárůst výroby PKD až o 10 % za rok [38].

2.1.1 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy jsou vyráběny pomocí práškové metalurgie. Tato metoda zahrnuje lisování a slinování odpovídajících karbidů ve formě prášku a kovového pojiva. Nejčastější jsou karbidy wolframu, titanu, tantalu, vanadu ad. Jedním z nejdůležitějších karbidů je WC (karbid wolframu), který má vliv na výslednou tvrdost potažmo houževnatost. Jako pojivo se používá nejčastěji kobalt, méně často pak nikl. Nejčastěji je SK využíván ve formě VBD (vyměnitelných břitových destiček). Pracovní teploty se pohybují kolem 900 °C. Dále lze slinuté karbidy dělit na povlakované a nepovlakované [38, 39, 40, 42].

Obecný výrobní postup SK [35]:

1. příprava práškové směsi,
2. formování směsi,
3. slinování (1 350–1 650 °C),
4. úpravy povrchu (broušení, povlakování).

Ještě před samotným slinováním dochází k předslinování zformovaných směsí. Během slinování dochází k vysokoteplotnímu izostatickému lisování (HIP – Hot Isostatic Pressing).

Nepovlakované slinuté karbidy

Tato skupina slinutých karbidů tvoří zanedbatelnou část mezi nástrojovými materiály. Použití této třídy je omezeno pouze na vybrané aplikace jako je obrábění titanových či žáruvzdorných slitin. Nárůst opotřebení je v tomto případě značný. Rozdělení do skupin je podle normy ISO 513. Jedná se o skupiny P, M, K, N, S, H. Dále lze SK rozčlenit dle obsahu pojiva a karbidů. Například P10, kde číslo vyjadřuje obsah pojiva [35, 39, 42].

Skupina N

Zelená skupina N značí obrábění neželezných kovů s tvrdostí do 130 HB (tvrdost dle Brinella) jako jsou slitiny mědi, hořčíku, mosazi nebo právě hliníku. Slitiny hliníku zastupují dominantní skupinu. Nemusí však jít jen o kovové materiály. Obrábět lze i kompozity nebo dřevo [9, 39, 42].

Povlakované slinuté karbidy

Povlakované SK dnes tvoří 85–90 % veškerých používaných VBD. Takové množství má i své opodstatnění. Kombinace substrátu vlastního SK a jeho povlaku umožňují celou škálu obráběcích operací. Co se týče zdokonalování složení SK, zde není mnoho vyhlídek. Naopak u povlaků je tomu naopak. Povlaky mohou být jednovrstvé, vícevrstvé, gradientní nebo tzv. nanovrstvy. Například nový nanopovlak nc-TiN/ α -Si₃N₄ má tvrdost 105 GPa a disponuje vynikajícími reznými vlastnostmi. Takovou tvrdostí disponuje diamant. Metody povlakování jsou dvě základní, od níž se odvíjejí různé kombinace a alternativy [38, 42].

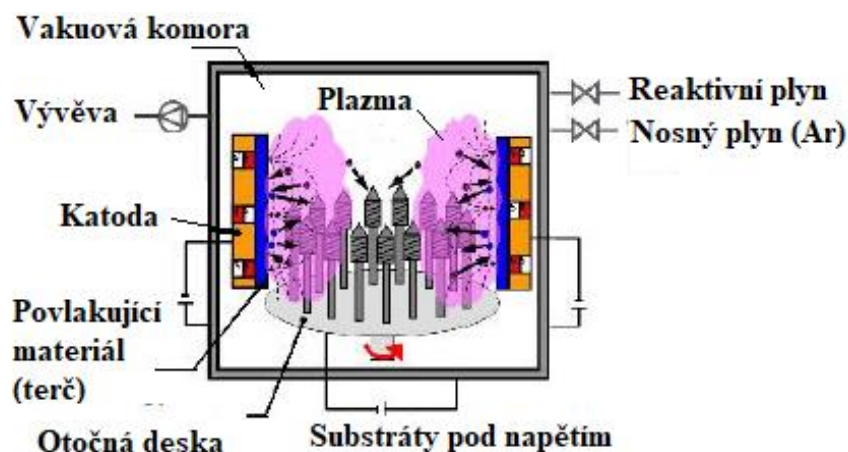
Metoda CVD (Chemical Vapor Deposition)

Jedná se o metodu napařování z plynné fáze. Teploty, při kterých chemické reakce vznikají, jsou v rozpětí 900–1 000 °C. Tyto teploty mohou negativně ovlivňovat základní materiál, na který je povlak nanášen. Další nevýhodou je špatná přilnavost na ostré hrany. Naopak mezi výhody patří vynikající odolnost proti otěru. Alternativou může být MTCVD (Middle Temperature Chemical Vapor Deposition) povlakování, což je metoda, která pracuje s daleko nižšími teplotami kolem 750 °C [35, 38, 42].

Metoda PVD (Physical Vapor Deposition)

Tato technika je založena na fyzikálním napařování pevné fáze. Teploty jsou mnohem příznivější pro základní materiál (200–400 °C). Výhodou je možnost povlakování ostrých hran. Rozdělit PVD povlakování lze na napařování, napařování a iontovou implantanci.

Jedna z nejmodernějších technologií nanášení povlaků je tzv. HiPIMS (High-Power Impulze Magnetron Sputtering). Jedná se o vysokovýkonné pulzní magnetronové napařování (obr. 2.2). Tato metoda vytváří studenou plazmu s vysokoenergetickými ionty, mnohem hustší povlaky a má i lepší hloubkový průnik do substrátu a vynikající přilnavost ve srovnání s konvenčními metodami [35, 38, 42, 43].



Obr. 2.2 Schéma metody HiPIMS [44].

2.2.2 Polykrystalický diamant

Hlavně díky automobilovému průmyslu zažívá polykrystalický diamant (PKD) rozmach. Čím dál více dílů je vyráběno právě ze slitin hliníku (bloky motorů, hlavy válců apod.). Díky tomu je PKD hojně využíván. U lité slitiny hliníku (eutektika) s vysokým podílem křemíku dochází při použití slinutého karbidu ke značné abrazi. Dále nachází uplatnění při obrábění kompozitních materiálů a v leteckém průmyslu. PKD disponuje výbornou trvanlivostí a jakostí povrchu při zachování procesní spolehlivosti. Řezné podmínky dosahují enormních hodnot. Například firma Gühring uvádí při frézování hlavy válců řeznou rychlost 5 890 m/min a posuvovou rychlost 60 000 mm/min u frézy s VBD a průměrem 125 mm. Při takto nastavených řezných podmínkách jsou nároky na obráběcí stroje vysoké. Stroj musí být maximálně stabilní, dostatečně tuhý a bez jediného náznaku chvění při vysokých otáčkách. Jakost povrchu dosahuje rozmezí R_z 2–4 μm . Kvůli vysoké ceně tohoto nástrojového materiálu jsou VBD osazeny pouze z části (tzv. roubík). Alternativou může být diamantový povlak nanášený CVD metodou, vysoce odolný proti abrazi. Vybrané vlastnosti PKD jsou v tab. 2.1 [1, 38, 42, 45].

Tab. 2.1 Zvolené vlastnosti PKD [1, 2, 39].

Měrná hmotnost ρ [g/cm^3]	3,4 až 4,5
Tvrдость [HV]	6 000 až 10 000
Pevnost v tahu σ_t [MPa]	780 až 910
Pevnost v tlaku σ_k [GPa]	4,2 až 8,0
Pevnost v ohybu σ_o [MPa]	1 200 až 1 700
Měrná tepelná vodivost λ [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]	120 až 550
Součinitel délkové roztažnosti α [$1/10^6\cdot\text{K}$]	3,2 až 4,6

3 CHARAKTERISTIKA HLINÍKOVÝCH SLITIN

Hliník je tvárný a lehký kov, zároveň i nejrozšířenější kov v zemské kůře. Ve spotřebě je hned po železe druhý nejvýznamnější. Čistý hliník nemá ve strojírenství velké využití. Daleko více se využívá slitin hliníku s jinými kovy (Al slitiny). Díky svým vynikajícím vlastnostem se Al slitiny používají v řadě odvětví. V elektrotechnickém oboru pro svou výbornou elektrickou vodivost, chemický a potravinářský průmysl kvůli tepelné vodivosti. Nejpodstatnější je dopravní odvětví. Spotřeba v dopravním průmyslu činí zhruba 60 % celkové spotřeby. Naproti tomu ve strojírenství je to pouze 10 % [46, 47, 50, 51].

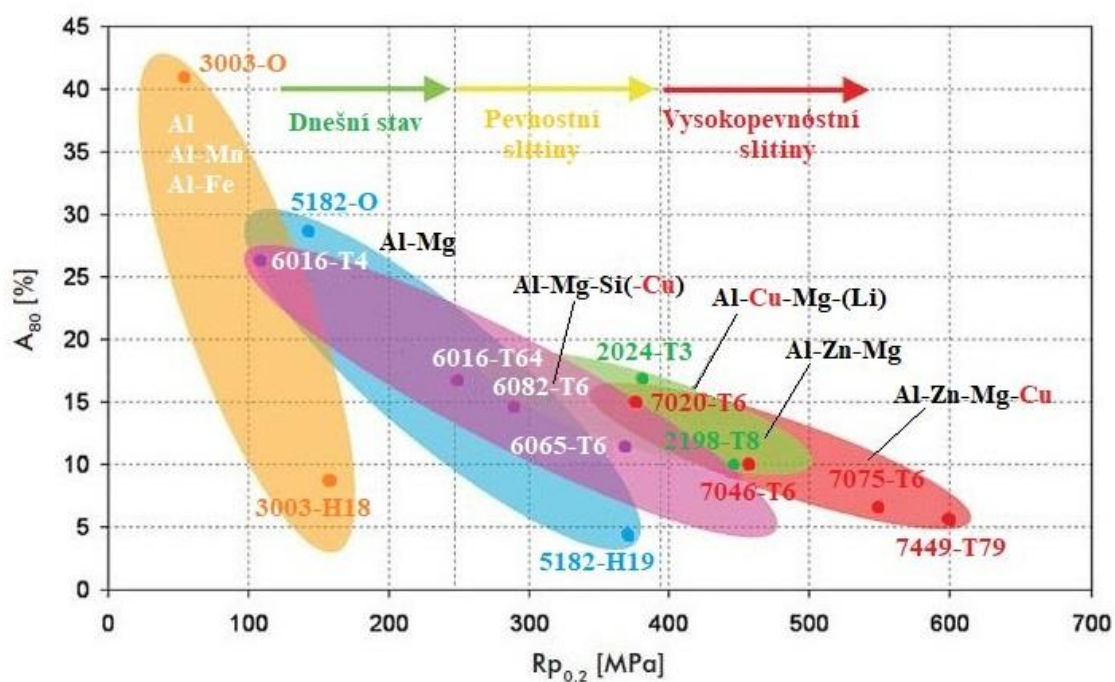
Výroba hliníku je spjatá s hlavní surovinou zvanou bauxit. Tato ruda je oxid železitý s neurčitým podílem vázané vody. Extrakce rudy, rafinace a tavení jsou hlavní technologie výroby primárního hliníku. Druhá možnost je sekundární výroba. Hliník je 100% recyklovatelný [47, 51].

Jak bylo řečeno v úvodu, spotřeba slitin hliníku každoročně narůstá. Může za to převážně automobilový, respektive dopravní průmysl. Cílem je snížení hmotnosti. Nižší hmotnost znamená nižší spotřebu. Sníží-li se celková hmotnost automobilu o 10 %, sníží se spotřeba paliva zhruba o 7 %. Za zmínku stojí i snižování CO₂. V dnešní době je takřka 70 % všech bloků motorů vyráběno z Al slitin. Dále lze zmínit převodové skříně, hlavy válců apod. [41, 46, 47, 50, 51].

Al slitiny jsou značně využívány právě pro své výjimečné mechanické, chemické, fyzikální a technologické vlastnosti. Především tedy jejich kombinace. Oproti oceli absorbují Al slitiny dvojnásobnou nárazovou práci, například při autonehodě. Vynikající je absorpce energie při nárazu. Firma Constellium uvádí slitinu pod obchodním názvem Securallex, u které dochází k deformaci ve tvaru „harmoniky“ obr. 3.1. Závislost pevnosti na tažnosti pro různé hliníkové slitiny je na obr. 3.2. Mezi nevýhody patří jednoznačně nízká tvrdost. Ta má za následek možné poškození povrchu [47, 51].



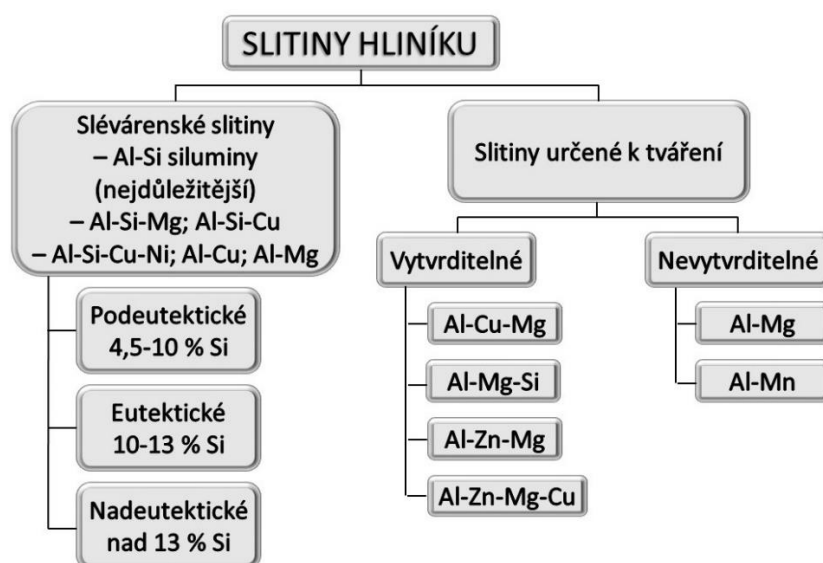
Obr. 3.1 Crashový test a jeho vyhodnocování u firmy Constellium [52, 53].



Obr. 3.2 Závislosti pevnosti na tažnosti pro různé hliníkové legované slitiny [54, 55].

3.1 Rozdělení a označování Al slitin

Slitiny hliníku lze rozdělit do několika kategorií. Dvě hlavní skupiny jsou slévárenské a k tváření. Nadále je lze rozdělit dle tepelného zpracování, či odolnosti vůči korozi. Základní schéma rozdělení Al slitin je na obr. 3.3 [50].

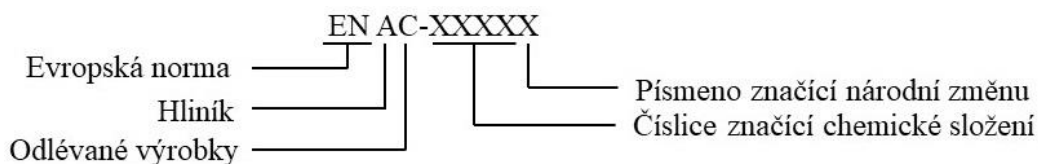


Obr. 3.3 Rozdělení slitin hliníku [50].

Existují i speciální slitiny pro obrábění, tzv. automatové slitiny. Ty jsou legovány cínem či bismutem pro lepší tvorbu třísky. Jako příklad AlMgSiSnBi pod obchodním názvem Stanal 32 [56].

Označování slitin hliníku pro odlitky podle ČSN EN 1706 – číselné značení [31].

Značení je dáno čtyřmi písmeny a pěti číslicemi. Rozbor tohoto značení dle evropské normy se nachází ve schématu níže [48]:



Význam číslic značících chemické složení a legur dle řady [48]:

Řada → Legující prvek

↓ ↓

1000 → Al 99,00 % a více

2000 → Cu

3000 → Mn

4000 → Si

5000 → Mg

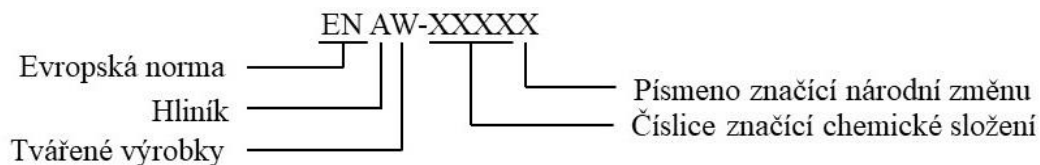
6000 → MgSi

7000 → Zn

8000 → různé prvky

Označování slitin hliníku pro tváření podle ČSN EN 573-1 až 3 – číselné značení [31].

Označování slitin pro tváření je obdobné jako u slitin pro odlévané výrobky. Schéma značení je následující:



Přiřazení druhu slitiny k řadě je stejné jako u slitin pro odlitky.

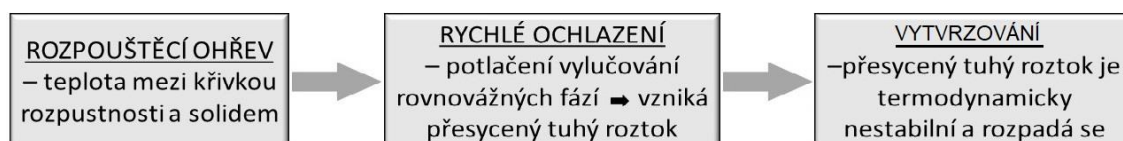
3.2 Tepelné zpracování Al slitin

Při pohledu do budoucnosti, jsou Al slitiny uzavřenou skupinou, co se materiálu týče. Vývoj nových slitin se zcela novým chemickým složením se nepředpokládá. Proto je nutné se věnovat novým postupům při tepelném zpracování (TZ), vývoji nových kompozitních materiálů na bázi hliníku či nanokrystalické slitiny hliníku [50].

Tepelné zpracování se provádí za účelem dosažení požadované struktury a vlastností. Nejčastějším záměrem je zvýšení mechanických vlastností jako je mez pevnosti nebo vrubová houževnatost, tvrdost apod. Nejběžnějšími druhy TZ jsou **žíhání** a **precipitační vytvrzování**. Žíhání může být rekrystalizační (přeměna zdeformované struktury na novou), stabilizační (stabilizace struktury a daných vlastností), ke snížení napětí či homogenizační (snížení chemické heterogenity) [48, 50].

3.2.1 Vytvrzování slitin hliníku

Vytvrzování je založeno na precipitačním rozpadu přesyceného tuhého roztoku. Precipitace nové fáze je doprovázena změnou chemického složení, strukturní změnou, změnou fyzikálních a mechanických vlastností. Následkem tohoto TZ vzrůstá tvrdost, což je nejčastěji hlavní požadavek. Schéma vytvrzování je na obr. 3.4 [49, 50].



Obr. 3.4 Schéma postupu precipitačního vytvrzování [50].

Tepelným zpracováním Al slitin lze dosahovat výborných mechanických vlastností při zachování nízké hmotnosti. Je však potřeba volit ústupky například mezi požadovanou pevností, odolností proti korozi nebo technologickou zpracovatelností jako je například svařitelnost, tvařitelnost nebo obrobitelnost [57].

3.3 Obrobitelnost hliníkových slitin

Obrobitelnost Al slitin závisí na mnoha faktorech jako je TZ, výroba polotovaru a na chemickém složení. Měrná řezná síla k_c , která udává sílu potřebnou k porušení soudržnosti materiálu účinkem řezného procesu, nabývá hodnot od 350–700 N/mm². Oproti tomu u oceli se pohybuje k_c od 1 400–3 100 N/mm². Při dostatečném množství legur, je kontrola utváření třísky snadná. U technologie frézování problém s utvářením třísky odpadá z důvodu vícebřitého nástroje. Pro obrábění se používá výhradně pozitivní geometrie řezného nástroje. Řezné rychlosti se pohybují v řádech jednotek tisíců metrů za minutu [1, 41, 58].

Absolutní obrobitelnost

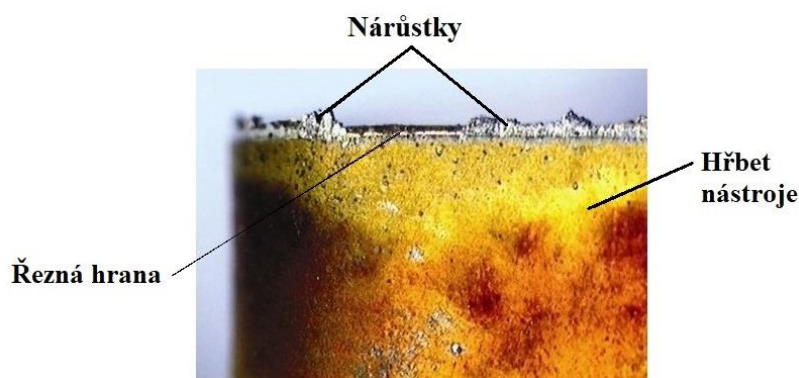
Tato hodnota veličiny charakterizující obrobitelnost daného materiálu se stanovuje velmi obtížně. Určitou možností, jak charakterizovat absolutní veličiny jsou například objem odebraného materiálu nebo hloubka vrtaného otvoru.

Relativní obrobitelnost

Jedná se o používanější metodu ve srovnání s výše uvedenou. Stupeň obrobitelnosti daného materiálu je vystihován veličinami jako je velikost celkových sil a momentů, velikost teploty řezání nebo třeba dosažené kvality obrobeného povrchu. Pro konkrétní materiál není stupeň obrobitelnosti stejný při obrábění různými metodami. Podle Celostátních norem a normativů lze materiály rozčlenit do devíti skupin značenými malými písmeny **a** až **d**. V těchto skupinách je vždy vybrán jeden etalonový materiál, ke kterému je stanovena relativní obrobitelnost. Hliníkové slitiny jsou zařazeny pod písmeno **d**, tedy lehké neželezné kovy. Etalonovým materiálem pro slitiny hliníku je **ČSN 42 4380.11** o tvrdosti 100 HB. Označení stupněm obrobitelnosti – **10d**. Platí, že čím menší číslo, tím hůře se materiál obrábí a naopak [2].

Během řezného procesu je největším problémem adheze. Adheze je mechanismus opotřebení, při kterém dochází k mikrosvarovým spojům. Vlivem vysokých teplot (kolem 1 000 °C) a tlaků (10^3 až 10^4 MPa) na čele nástroje (a řezné hraně), je rychlost odchodu třísky zbrzděna na nulovou hodnotu a vytváří se tzv. nárůstek obr. 3.5. Nárůstek může mít dvakrát až pětkrát větší hodnotu tvrdosti než obráběný materiál. Díky nárůstku dochází ke změně geometrie řezného nástroje, což je nežádoucí. Nastává zhoršení kvality obrobené plochy a může způsobovat kmitání během řezného procesu. Vzniká při nízkých řezných rychlostech kolem 30 m/min u měkkých, tvárných materiálů jako jsou právě Al slitiny. Možná opatření jsou následující [5, 35, 36]:

- zvýšení řezné rychlosti či posuvu,
- použití pozitivní geometrie (kladný úhel čela),
- nanesení povlaků ke snížení tření nebo mikroleštění čela nástroje diamantem,
- použití a optimalizace řezné kapaliny.



Obr. 3.5 Nárůstek [65].

Obrobitelnost slévárenských a tvářených Al slitin

Při obrábění slévárenských Al slitin je rozhodující obsah křemíku. Opotřebení nástroje narůstá s rostoucím obsahem křemíku. Negativně ovlivňují životnost nástroje také nekovové vměstky či oxidické vrstvy. Pozitivní vliv na opotřebení nástroje má jemnozrnná lící struktura.

Obrobitelnost tvářených slitin se zlepšuje tvářením za studena a po tepelném zpracování. U nevytvrzených slitin se tvoří dlouhá spojitá tříška, což je nežádoucí. Jakost povrchu bývá u obou typů slitin výborná [39, 48].

4 POPIS STÁVAJÍCÍHO TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU

Současný technologický postup pro danou součást je velmi dobře zpracován. Roční výrobní série činí 400 kusů. Firma vyrábí široké spektrum strojírenských dílů. Z tohoto důvodu je množství 400 kusů značné a každé snížení strojních či vedlejších časů je vítáno. Pro úspěšné zdokonalení výrobního procesu je nutné provést detailní analýzu stávající technologie. To zahrnuje rozbor obrobku (materiálový model, polotovar ad.), obráběcího stroje, nástrojů, ale i způsob upnutí obrobku.

4.1 Firma Znojenské strojírny, s r.o.

Firma založená roku 1992 je subdodavatelský podnik vyrábějící přesně obráběné strojírenské součásti a jeden ze zakládajících členů **Svazu českého leteckého průmyslu**. Znojenské strojírny (ZS) (obr. 4.1) mají certifikaci pro letecký průmysl a dodávají díly pro takové společnosti jako je Airbus, Aero Vodochody a.s. a Letov letecká výroba – Groupe Latecoere. Společnost se dále specializuje na technicky náročné dílce ve středně velkých sériích (od 50 do 2 000 kusů za rok). Firma také provádí montáže sestav a podsestav.

Společnost disponuje strojovým parkem, který zahrnuje 14 CNC soustruhů, 16 CNC obráběcích center a 2 CNC brusky na plocho a rotační broušení. Moderní CNC obráběcí centra jsou tři až sedmiosá. Ostatní stroje jako pily, vrtačky, konvenční soustruhy, brusky, frézky ad., jsou zastoupeny pouze v malé míře. Ve firmě obrábí všechny druhy materiálu jako uhlíkové, nerezové a nástrojové oceli, všechny skupiny neželezných kovů, litiny i například Inconel nebo titanové slitiny. Z povrchových úprav lze provádět pouze černění. Případné tepelné zpracování probíhá v kooperaci [60].



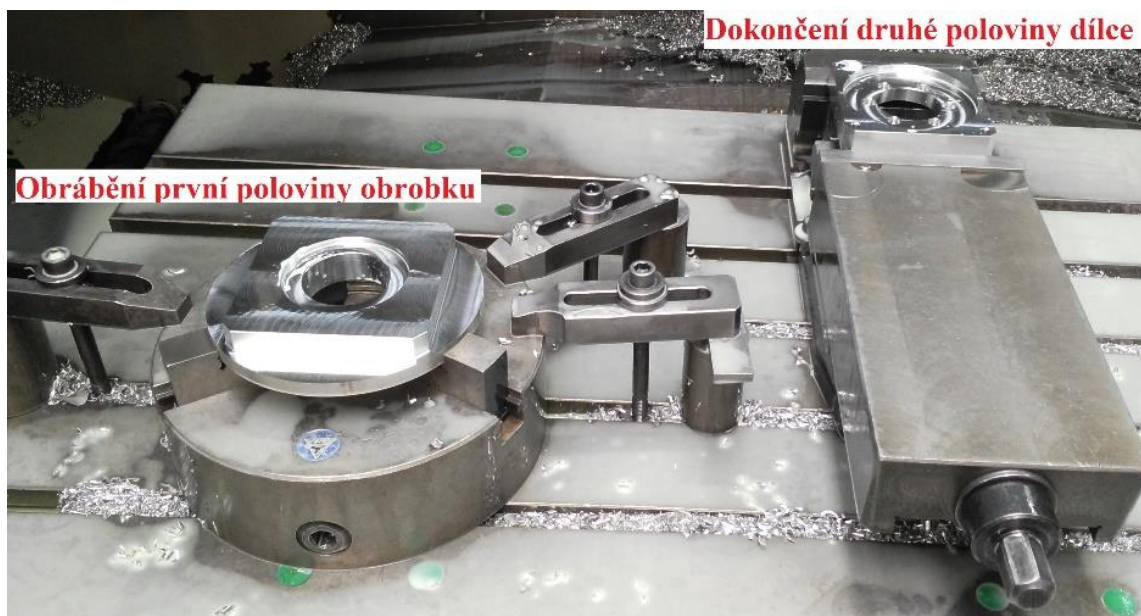
Obr. 4.1 Logo Znojenských strojíren [60].

4.2 Současný technologický postup

Současný technologický postup je stručný a je uzpůsoben výrobě na CNC stroji, kde probíhá veškeré obrábění mimo výrobu závitů. Obrábění je rozděleno na dvě části. V první etapě je polotovar upnut do tříčelistového sklíčidla, kde je obrobena polovina obrobku. Ve druhé části je obrobek otočen a přemístěn do strojního svěráku, kde je doobrobena druhá polovina součásti (obr. 4.2). Zároveň je však do sklíčidla vložen další přířez, na kterém se obrábí opět první polovina dílce. Tato strategie je velice efektivní. Kvůli nízké tvrdosti součásti existuje riziko poškození povrchu při upínání, což je nežádoucí. Díky geometrickým tolerancím je při poslední operaci dokončování kapsy průměru 110 mm, obrobek povolen a znovu upnut, ovšem značně menší silou. Stručný technologický postup je v tabulce 4.1. Podrobný technologický postup pro CNC stroj je v tabulkách 4.2 a 4.3.

Tab. 4.1 Současný technologický postup [60].

VÝROBNÍ POSTUP			Název součásti: PŘÍRUBA		Číslo dílu: S-14809
Vyhotovil: Znojenské strojírny			Polotovary: Ø170-42 4400.81		Datum: 22. 2. 2019
Číslo operace	Pracoviště	Stroj	Kusů/směnu Obsluha	Popis operace	Čas operace [min] Čas přípravný [min]
10	Obrobna	Pásová pila	56	– Řezat tyč kruhovou Ø170 mm na délku L = 26+1 mm	8,5
			0,25		15
50	Obrobna	SMV 1370-H3L	16	– Vrtat + frézovat hotově kromě řezání závitů – Odjehlít	30
			0,5		180
60	Obrobna	V20-Z	120	– Zahhloubit 90° na Ø8,2+0,2 (4x) – Řezat závit M8-6H (4x)	4
			1		30
70	Ruční pracoviště		229	– Odjehlít případné ostříny a otřepy 0,2±0,4x45°	2,1
			1		0
80	OTK	3D měřidlo Zeiss		– Kontrolovat rozměry dle výkresové dokumentace – 5 % z výrobní dávky	
90	Balárna		1600	– Vyprat ve vodě se saponátem – Balit jednotlivě do papíru	0,3
			1		0



Obr. 4.2 Princip strategie výroby.

Tab. 4.2 Podrobný technologický postup pro obráběcí stroj SMV 1370 – H3L část 1.

VÝROBNÍ POSTUP		Název součásti: PŘÍRUBA		Číslo dílu: S-14809
Vyhotovil: Znojenské strojírny		Polotovar: Ø170–42 4400.81		Datum: 22. 2. 2019
Číslo operace	Pracoviště	Stroj	Popis operace	Nástroje/ přípravky
50	Obrobna	SMV 1370–H3L	– Frézovat 1. polohu	
			– Upnout do sklíčidla za Ø170 mm a max. do hloubky 10 mm	Tříčelistové sklíčidlo
			– Vrtat průchozí díru Ø20 mm ve středu obrobku	T1
			– Hrubovat kapsu Ø77 H7 mm s přídavkem 0,5 mm do hloubky 3,7 mm	T2
			– Hrubovat díru Ø54 mm s přídavkem 0,5 mm	T2
			– Hrubovat vnější tvar 125x125 mm s přídavkem 0,5 mm do hloubky 15 mm	T3
			– Hrubovat čelní plochu na tloušťku 24,7 mm	T3
			– Dokončit čelní plochu na tloušťku 24,5 mm	T4
			– Dokončit vnější tvar 120x120 mm	T5
			– Dokončit kapsu Ø77 H7 (dno i stěna)	T5
			– Dokončit díru Ø54 mm	T5
			– Srazit hrany 0,2÷0,4 x 45°	T6

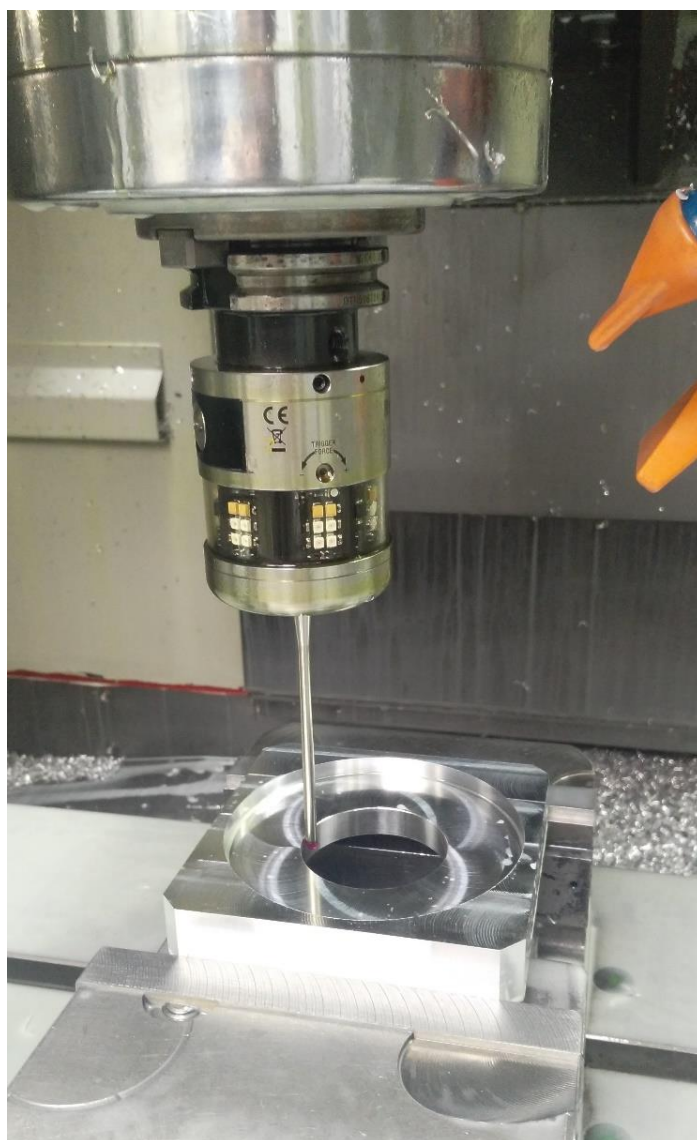
FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List	38
---------	-----------------	------	----

Tab. 4.3 Podrobný technologický postup pro obráběcí stroj SMV 1370 – H3L část 2.

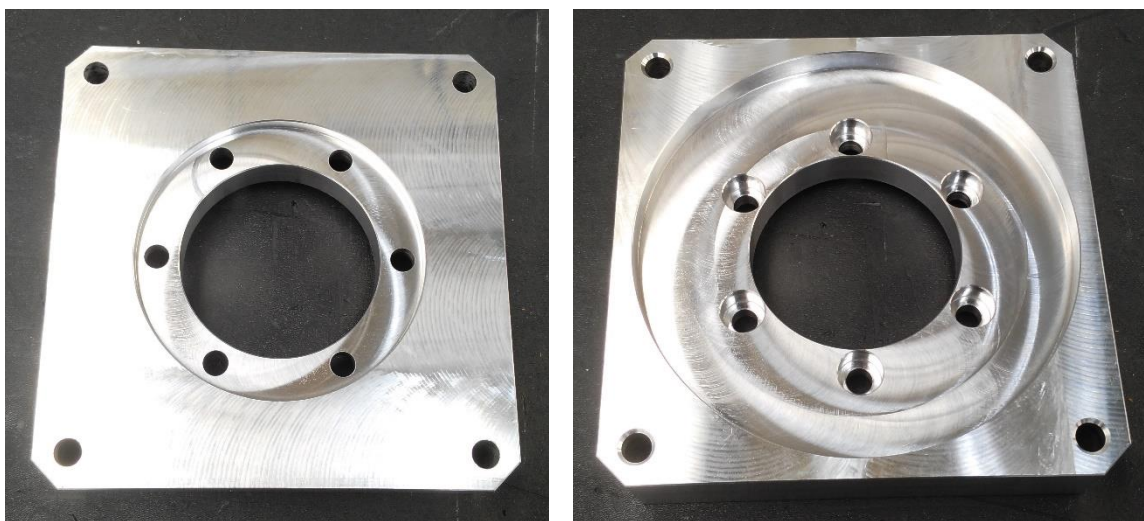
VÝROBNÍ POSTUP			Název součásti: PŘÍRUBA	Číslo dílu: S-14809
Vyhotožil: Znojenské strojírny			Polotovár: Ø170-42 4400.81	Datum: 22. 2. 2019
Číslo operace	Pracoviště	Stroj	Popis operace	Nástroje/ přípravy
50	Obrobna	SMV 1370-H3L	- Frézovat 2. polohu	
			- Obrobek otočit a upnout do strojního svěráku do hloubky 10 mm	Strojní svěrák
			- Najetí sondy na střed díry Ø54 mm; zjistit polohu obrobku	T11
			- Hrubovat vnější tvar 125x125 mm s přídavkem 0,5 mm; do hloubky 15 mm	T3
			- Hrubovat čelní plochu na tloušťku 23,2 mm	T3
			- Hrubovat kapsu Ø110 H7 mm s přídavkem 0,5 mm; do hloubky 6,7 mm	T3
			- Najetí sondy na střed díry Ø54 mm; zjistit přesnou polohu obrobku po hrubování	T11
			- Dokončit vnější tvar 120x120 mm	T5
			- Dokončit čelní plochu na tloušťku 23 mm	T5
			- Vrtat průchozí díru Ø6,6 – 6x	T7
			- Vrtat průchozí díru Ø6,8 pro závit M8-6H 4x	T8
			- Frézovat válcové zahloubení Ø11 mm do hloubky 7 mm	T9
			- Svěrák povolit a lehce dotáhnout	
			- Najetí sondy na střed díry Ø54 mm; zjistit přesnou polohu obrobku před dokončením kapsy Ø110 H7	T11
			- Dokončit kapsu Ø110 H7 (dno i stěna)	T5
			- Srazit hrany 0,2÷0,4 x 45° + zahloubit kuželově díru pro závit 90° na Ø 8,2+0,2 mm – 4x	T6

Během řezného procesu jsou nástroje chlazeny procesní kapalinou Rhenus TU 43. Tato kapalina je univerzální a obsahuje 16 % minerálního oleje. Koncentrace je 5–8 %. Je vhodná pro obrábění slitin hliníku. Zákazník blíže nespecifikoval, jaké množství má být kontrolováno. Proto je kontrolováno 5 % hotových součástí z výrobní dávky 80 kusů [67].

Sonda OMP 40 s dotykem od firmy Renishaw najíždí celkem 3x pro zjištění přesné polohy obrobku. Poprvé po otočení dílu a upnutí do strojního svěráku, podruhé po hrubovací operaci a potřetí před samotným dokončením kapsy Ø110 H7 s geometrickými tolerancemi. Tímto postupem je zajištěna nutná přesnost obrábění. Najetí sondy po hrubování je na obr. 4.3. Hotová součást je na obr. 4.4.



Obr. 4.3 Dotyková sonda Renishaw OMP 40 určuje přesnou polohu dílu.



Obr. 4.4 Součást po obrábění na obráběcím centru SMV 1370–H3L.

4.3 Obráběcí stroj

Převážná část obrábění se provádí na CNC vertikálním obráběcím centru. Jedná se o stroj SMV 1370 – H3L (obr. 4.5) od firmy Finetech s lineárním vedením a čtyřmi řízenými osami. Zde se odehrává převládající část procesu. Obrábí se vlastní tvar včetně děr, zahloubení a zkosení hran. Pouze závity jsou vyráběny na jiném pracovišti. Technické informace o CNC stroji jsou uvedeny v tabulce 4.4. Obráběcí centrum je vhodné jak pro malé, tak i velké série. Vzhledem k obrábění hliníkové slitiny, by mohl být výkon stroje vyšší (vyšší počet otáček vřetena). Ve strojovém parku je celá řada výkonnějších strojů, na což bude brán zřetel při racionalizaci výroby.



Obr. 4.5 Finetech SMV 1370 – H3L [61].

Tab. 4.4 Technické specifikace stroje [61].

Posuvy	
Osa X	1300 mm
Osa Y	700 mm
Osa Z	650 mm
Rychloposuv X/Y/Z	25/25/25 m/min
Pracovní plocha	
Stůl	1450 x 700 mm
Max. zatížení stolu	800 kg
Vřeteno	
Vřeteno Taper 40	BT/CAT/DIN 40
Motor vřetena	11–15 kW
Max. otáčky vřetene	12 000 1/min
Automatická výměna nástrojů (ATC)	
ATC Arm Typ	24/30 nástrojů
Požadavky na připojení	
Příkon stroje	45 kVA
Řídicí systém stroje	
	Fanuc 0i–MD

4.4 Polotovar

Současný dodavatel (Primapol Metal Spot s.r.o.) dodává polotovar ve formě tyče kruhové válcované za tepla o průměru 170 mm a délky 3 000 mm. Z té je následně pomocí pásové pily odříznut přířez (obr. 4.6) délky 26 mm s tolerancí plus 1 mm. Polotovar je z materiálu EN AW–6082 T650 (dle ČSN 42 4400.81) nebo dle chemického složení AlSi1MgMn. Jedná se o slitinu hliníku tvářenou pro všeobecné účely. Stav T650 značí materiál tvářený za tepla po rozpouštěcím žíhání a umělém stárnutí. Cena polotovaru pro ZS je 97 Kč za kilogram materiálu bez DPH a bez dopravy [62].

Tento materiál se používá pro středně namáhané konstrukce letadel, vozidel a součástí pro jemnou mechaniku a optiku. Slitina má velmi dobrou odolnost proti atmosférické korozi a koroznímu praskání. Svařitelnost odporovým svařováním je velmi dobrá. Dobrá je i svařitelnost metodou MIG a TIG. Naopak podmíněná je svařitelnost plamenem. Tvařitelnost je velmi dobrá za tepla (360–460 °C) i za studena (měkký stav). Třída obrobitelnosti je pro maximální tvrdost 95 HB 10d, což je hodnota etalonového materiálu. Chemické složení je v tabulce 4.5, mechanické vlastnosti pak v tabulce 4.6 [47, 62].

Tab. 4.5 Chemické složení slitiny AlSi1MgMn [62].

Chemické složení [hmot. %]										
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	ostatní		Al
								jednotl.	celkem	
0,7–1,3	0,5	0,1	0,4–1,0	0,6–1,2	0,25	0,2	0,1	0,05	0,15	zbytek

Pozn.: Uvedené hodnoty jsou maximální povolené, pokud není dán rozsah.

Tab. 4.6 Mechanické a technologické vlastnosti slitiny EN AW 6082 T650 [62].

Mez pevnosti R_m	min. 290 MPa
Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$	250 MPa
Tažnost A_{50mm}^1	6 %
Tvrdost	89 HB
Obrobitelnost	velmi dobrá
Svařitelnost	dobrá
Odolnost proti korozi	velmi dobrá
Teploty použití	–50 až 70 °C
Vhodnost k eloxování ²	ano

Pozn.: 1 eloxování neboli elektrolytická oxidace kovu, je povrchová úprava sloužící ke zlepšení odolnosti proti korozi či pro zlepšení mechanických vlastností povrchové vrstvy [64].

2 prodloužení vyjádřené v procentech po lomu, vztažené k počáteční měřené délce 50 mm a konstantní počáteční šířce zkušebního tělesa mezi měřicími značkami [63].



Obr. 4.6 Přířez z polotovaru EN AW–6082.

Stanovení spotřebního množství stávajícího polotovaru

K dělení polotovaru na jednotlivé přířezy je použit pilový pás tloušťky 3,5 mm. Celkový přídavek **p** je stanoven na 3 mm. Tedy 1,5 mm na každou stranu přířezu. Délka hotové součásti činí 23 mm. Vzhledem k tomu, že je polotovar řezán s tolerancí +1 mm, je nutné uvažovat ve výpočtech spotřebního množství maximální možnou délku přířezu tj. 27 mm. Spotřební množství se stanoví následovně:

Délka přířezu L_p :

$$L_p = L_s + p + T = 23 + 3 + 1 = 27 \text{ mm} \quad (4.1)$$

Ve výpočtech je nutné zahrnout i prořez **u**, délky 3,5 mm. Výchozí rozměr je tedy:

$$V_r = L_p + u = 27 + 3,5 = 30,5 \text{ mm} \quad (4.2)$$

Počet kusů přířezu **n_p** z jedné tyče polotovaru se stanoví takto:

$$n_p = \frac{L_{pol}}{V_r} = \frac{3000}{30,5} \cong 98,361 \text{ ks} \quad (4.3)$$

Po zaokrouhlení na celé kusy, činí počet přířezů **98 kusů**. Dále je určen přepočet na celé kusy a spočten spotřební rozměr:

$$S_r = \frac{L_{pol}}{n_p} = \frac{3000}{98} = 30,612 \text{ mm} \quad (4.4)$$

Spotřební množství **S_m** pak činí **1,876 kg** na jeden kus dílce. Při ceně 97 Kč/kg je cena materiálu vztažená na jeden kus **181,97 Kč**.

Stupeň využití materiálu současného polotovaru

Stupeň využití materiálu **k_m** se spočte dle vzorce 4.9 [66]. Nejprve se stanoví norma spotřeby materiálu **N_m** . Ta se skládá ze ztrát vzniklých dělením tyče **q_d** , hmotnosti přířezu **Q_p** a ze ztrát vzniklých z nevyužitého konce tyče **q_k** .

Ztráty vzniklé dělením tyče:

$$q_d = \rho \cdot \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \cdot u = 2700 \cdot \frac{\pi \cdot 0,170^2}{4} \cdot 0,0035 = 0,214 \text{ kg} \quad (4.5)$$

Délka nevyužitého konce tyče:

$$l_k = L_{pol} - n_p \cdot (L_p + u) = 3000 - 98 \cdot (27 + 3,5) = 11 \text{ mm} \quad (4.6)$$

Ztráta materiálu koncovým odpadem:

$$q_k = \frac{\rho \cdot \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \cdot l_k}{n_p} = \frac{2700 \cdot \frac{\pi \cdot 0,170^2}{4} \cdot 0,011}{98} = 0,00688 \text{ kg} \quad (4.7)$$

Norma spotřeby materiálu [66]:

$$N_m = Q_p + q_d + q_k = 1,655 + 0,214 + 0,00688 = 1,876 \text{ kg} \quad (4.8)$$

Stupeň využití materiálu je pak určen jako podíl hmotnosti hotového dílce a normy spotřeby materiálu [66]:

$$k_m = \frac{Q_s}{N_m} = \frac{0,561}{1,876} = 0,299 \cong 29,9 \% \quad (4.9)$$

Ztráty materiálu koncovým odpadem a ztráty vzniklé dělením tyče jsou vztaženy na počet kusů přířezu. Hmotnost přířezu byla vypočtena v programu Autodesk Inventor Professional 2018.

4.5 Obrobek

Vyráběný dílec není konstrukčně složitý. Součást je typu příruba kvádrového tvaru. Obsahuje dvě kapsy situované naproti sobě o průměrech 77 mm a 110 mm, obě s tolerancí H7. Drsnost povrchu těchto kapes je $R_a = 1,6 \mu\text{m}$. Tyto kapsy jsou propojeny průchozí dírou. Dále se zde nachází šest zahloubených děr o průměru 6,6 mm a zahloubení průměru 11 mm. Čtyři závit M8-6H jsou průchozí skrze celou tloušťku součásti. Z geometrických tolerancí je zde zastoupena rovnoběžnost v hodnotě 0,03 mm (čelo a dno kapsy průměru 77 mm) a házení na kapse průměru 110 mm v hodnotě 0,05 mm. Celková drsnost povrchu je stanovena zákazníkem na hodnotu $R_a = 3,2 \mu\text{m}$. Výrobní tolerance netolerovaných rozměrů jsou dle ISO 2768-mK. Dílec lze bez problémů vyrobit a splnit veškeré požadavky zákazníka. Výkres součásti viz příloha č. 1.

4.6 Použité nástroje

Nástroje jsou voleny s ohledem na obráběný materiál. Firma nakupuje nástroje od různých dodavatelů jako je Sandvik Coromant, Gühring, Walter Tools apod. Většina nástrojů je upnuta pomocí kleštiny. Pouze fréza WSX445 průměru 63 mm je upnuta pomocí upínacího trnu. Nástroje nejsou z hlediska řezných podmínek zatíženy na sto procent, proto není třeba je měnit. Seznam použitých nástrojů je v tabulce 4.7 a seznam měřících přístrojů v tabulce 4.8.

Tab. 4.7 Seznam použitých nástrojů a jejich řezné podmínky.

Označení nástroje	Název nástroje	Materiál/ Povlak	Řezné podmínky		
			v_c [m/min]	v_f [mm/min]	n [1/min]
T1	Vrták šroubovité Ø20 mm	HSS	69	100	1100
T2	Fréza Ø25 – R390 – 3 břity	SK	499	2850	6350
T3	Fréza Ø40 – R390 – 6 břitů	SK	503	3600	4000
T4	Fréza Ø63 – WSX445 – 6 břitů	SK	594	3600	3000
T5	Fréza Ø20x65 – 4 břity	SK	157	500	2500
T6	Vrták středící Ø10x90°	HSS/TiCN	188	1200	6000
T7	Vrták šroubovité Ø6,6	SK	83	640	4000
T8	Vrták šroubovité Ø6,8	SK	85	640	4000
T9	Fréza Ø10x26 – 3 břity	SK	100	500	3180
T10	Strojní závitník M8	HSS	10	478	398
T11	Sonda Renishaw OMP 40				

Tab. 4.8 Seznam měřících nástrojů.

Označení měřícího nástroje	Název nástroje
M1	Posuvné měřidlo digitální 0–150 mm
M2	Posuvné měřidlo digitální 0–300 mm
M3	Třídotekový dutinoměr na otvor 40–100 mm Tesa
M4	Třídotekový dutinoměr na otvor 100–126 mm Tesa
M5	Válečkový mezní kalibr Ø110 H7
M6	Válečkový mezní kalibr Ø77 H7
M7	Závitový mezní kalibr – trn – M8-6H
M8	3D měřící centrum Zeiss se senzorem VAST XXT

5 NAVRŽENÍ NOVÉHO TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU

Navržení nového technologického postupu je zaměřeno na zdokonalení procesu výroby a tím i snížení nákladů na výrobu jednoho kusu. To se promítne do celé výrobní dávky. Stávající výrobní proces je velice efektivní. V první řadě je snaha zvýšit ekonomiku procesu bez investice do nového strojního vybavení. Strojový park firmy obsahuje celou řadu CNC moderních strojů s vysokým výkonem, které jsou k dispozici. Dále je možnost změnit polotovar nebo nakoupit nové, výkonnější nástroje. Ke snížení manipulace s materiálem je možnost zrušit pracoviště, kde je vyráběn závit. Nově sestavený technologický postup a racionalizační opatření jsou popsány v následujících podkapitolách.

5.1 Změna polotovaru

Stávající polotovar je tyč kruhová průměru 170 mm, další informace viz kapitola 4.4. V rámci zdokonalení polotovaru byli osloveni další dva dodavatelé. Poptávána byla tyč čtvercová o rozměru 130 mm ze stejného materiálu EN AW 6082. U dodavatele 2 (firma Alcom Alval s r.o.) byl poptán polotovar 2 ve stavu T6511, který značí stav po rozpouštěcím žihání, uvolnění vnitřního napětí vypnutím řízenou velikostí (pro válcovanou tyč 1–3 %) a umělém stárnutí. Po vypnutí se připouští mírné vyrovnaní za účelem vyhovění normalizovaným mezním úchylkám. Chemické složení a technologické vlastnosti jsou totožné se současným polotovarem. Mechanické vlastnosti dosahují nepatrně vyšších hodnot viz tab. 5.1 [68].

Tab. 5.1 Mechanické vlastnosti Al slitiny od dodavatele 2 [68].

Mez pevnosti R_m	min. 310 MPa
Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$	min. 260 MPa
Tažnost A	min. 8 %
Tvrdost	95 HB

Nabídnutá cena byla 94 Kč za kilogram bez DPH včetně dopravy. Poptávaná cena byla pro množství roční výroby, tedy 570,5 kg (400 kusů).

Stanovení spotřebního množství polotovaru 2

Spotřební množství je stanoveno stejně jako v kapitole 4.4 podle vzorců 4.1 až 4.4. Hmotnost přířezu je však nižší. Spotřební množství činí **1,396 kg** na jeden kus součásti. Při ceně 94 Kč/kg je cena materiálu vztažená na jeden kus **131,22 Kč**.

Navíc došlo i ke snížení operačního času při řezání pásovou pilou. Polotovar má menší rozměry, tím je čas dělení na přířez menší.

Stupeň využití materiálu polotovaru 2

Stupeň využití materiálu je vypočten podle vzorců 4.5 až 4.9.

$$q_d = \rho \cdot a \cdot b \cdot u = 2700 \cdot 0,13 \cdot 0,13 \cdot 0,0035 = 0,160 \text{ kg}$$

$$l_k = L_{pol} - n_p \cdot (L_p + u) = 3000 - 98 \cdot (27 + 3,5) = 11 \text{ mm}$$

$$q_k = \frac{\rho \cdot a \cdot b \cdot l_k}{n_p} = \frac{2700 \cdot 0,13 \cdot 0,13 \cdot 0,011}{98} = 0,00512 \text{ kg}$$

$$N_m = Q_p + q_d + q_k = 1,396 + 0,160 + 0,00512 = 1,561 \text{ kg}$$

$$k_m = \frac{Q_s}{N_m} = \frac{0,561}{1,561} = 0,359 \cong 35,9 \%$$

Dodavatelem 3 (firma Alumeco) byla nabídnuta stejná tyč jako u dodavatele 2. Díky stejnému rozměru tyče je stupeň využití materiálu i spotřební množství materiálu stejné jako v případě polotovaru 2. Stupeň využití materiálu je **35,9 %**. Nabídnutá cena materiálu pro daný počet součástí včetně dopravy je **90,4 Kč** za kilogram bez DPH. Spotřební množství je tedy **1,396 kg**. Cena materiálu na jeden kus je **126,2 Kč**. Srovnání jednotlivých dodavatelů je v tabulce 5.3. Chemické složení a technologické vlastnosti jsou opět stejné jako v předchozích dvou případech, rozdílné jsou mechanické vlastnosti, které jsou v tabulce 5.2.

Tab. 5.2 Mechanické vlastnosti Al slitiny od dodavatele 3 [69].

Mez pevnosti R_m	min. 275 MPa
Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$	min. 240 MPa
Tažnost A	min. 6 %
Tvrdost	84 HB

Tab. 5.3 Srovnání ceny materiálu od jednotlivých dodavatelů.

	Poptávané množství S_p [kg]	Cena dopravy [Kč]	Cena za 1 kg [Kč]	Spotřební množství S_m [kg]	Cena materiálu na výrobu 1 kusu [Kč]
Současný dodavatel	571	–	97 ¹	1,876	182
Dodavatel 2	571	2889	94 ²	1,396	131
Dodavatel 3	571	1300	90 ²	1,396	126

Pozn.: 1 cena je uvedena bez dopravy; 2 cena je uvedena včetně dopravy

5.2 Zrušení pracoviště výroby závitů

Na tomto pracovišti jsou vyráběny čtyři závity na stroji V20–Z (závitořez) včetně kuželového zahlobení. Strojní čas je zde delší, ale hodinová cena stroje (ve které je zahrnuta hodinová cena pracovníka a náklady na nástroje) je nižší. Zrušením pracoviště výroby závitů odpadá zbytečná manipulace s výrobkem a šetří tak čas. Vedlejší čas je dán časem na upnutí přípravků a nástrojů. Technologem je stanoven čas 30 minut na upnutí přípravků (svěrák, sklíčidlo) a 20 minut na nastavení a seřízení jednoho nástroje (u CNC stroje). Výsledný součet vedlejších časů se vynásobí koeficientem $k = 0,75$. Přehled časů po zrušení pracoviště je v tabulce 5.4.

Tab. 5.4 Přehled strojních a vedlejších časů po zrušení pracoviště výroby závitů.

	Současný stav		Stav po zrušení pracoviště	
	t_{AS} [min]	t_{AV} [min]	t_{AS} [min]	t_{AV} [min]
SMV 1370 – H3L	23,57	180	26,15	195
V20 – Z	4	30	–	–

5.3 Úprava řezných podmínek

Řezné podmínky (ŘP) mohou být limitovány jak obráběcím strojem, tak řeznými nástroji. Nástroje jsou dostačující a jsou vytíženy zhruba na 70 %. Omezujícím faktorem je tedy obráběcí stroj. Při zvýšení posuvové rychlosti a otáček u hrubování o 15 % z původní hodnoty, došlo ke snížení strojního času. Stroj se však začal mírně přehřívat. Maximální otáčky vřetene byly nastaveny na hodnotu 7 297 1/min. Obráběcí stroj vydrží po krátkou chvíli 12 000 1/min. Technolog však nedoporučuje překročení 10 000 1/min. Jak bylo vidět, i zvýšení otáček o 15 % stroj značně zatěžovalo. Úspora času po úpravě ŘP je v tabulce 5.6. Srovnání ŘP u jednotlivých nástrojů je v tabulce 5.5. U dokončovací operace ke změně řezných parametrů nedošlo z důvodu již vysokých hodnot. Obráběcí stroj omezuje i frézovací strategii. Například strategie Waveform, která je k dispozici v programu EdgeCam. Tato metoda je rychlostní vlnovité hrubování, kde je konstantní záběr do materiálu. Proti tradičnímu hrubování má až o 100 % vyšší množství odebraného materiálu za minutu. Rychlosti posuvu se pohybují kolem 8 000 mm/min, záleží však na konkrétních podmínkách (materiál, tvar apod.) [70].

Tab. 5.5 Srovnání řezných podmínek po navýšení o 15 % u hrubování pro nástroje T2 a T3.

	Stávající stav		Zvýšení v_f a n o 15 %	
	n [1/min]	v_f [mm/min]	n [1/min]	v_f [mm/min]
Nástroj T2	6 350	2 850	7 303	3 278
Nástroj T3	4 000	3 600	4 600	4 140

Pozn.: Nástroje T2 a T3 viz tabulka 4.7.

Tab. 5.6 Úspora strojního času při zvýšení otáček a posuvové rychlosti o 15 % u hrubování.

	Stávající stav	Zvýšení v_f a n o 15 %
Strojní čas t_{AS} [min]	23,57	23,22

5.4 Snížení operačního času na ručním pracovišti odjehlení

Vzhledem k tomu, že jsou u součásti srazeny všechny hrany již na CNC obráběcím stroji, je snížen operační čas na ručním pracovišti – odjehlení na 1 minutu. Drobné nedostatky na součásti jsou odstraněny obsluhou stroje. Další alternativou by bylo úplné zrušení tohoto pracoviště a případné nedokonalosti by odstranila obsluha CNC stroje. Strojní čas se v tomto případě nepočítá. Namísto toho se počítá s operačním časem jako náhradou. Srovnání času na pracovišti odjehlení je v tabulce 5.7.

Tab. 5.7 Srovnání operačních časů na ručním pracovišti odjehlení.

	Současný stav	Stav po snížení operačního času
Operační čas t_o [min]	2,1	1

5.5 Nová strategie obrábění

Tato kapitola popisuje novou strategii obrábění včetně úpravy řezných podmínek a redukci nástrojů. Výsledná hodnota strojního času je získána pomocí softwaru Powermill 2017, který byl použit pro tvorbu NC programu. Modifikovaný seznam nástrojů s upravenými řeznými podmínkami je v tabulce 5.8.

Tab. 5.8 Modifikovaný seznam nástrojů s upravenými řeznými podmínkami.

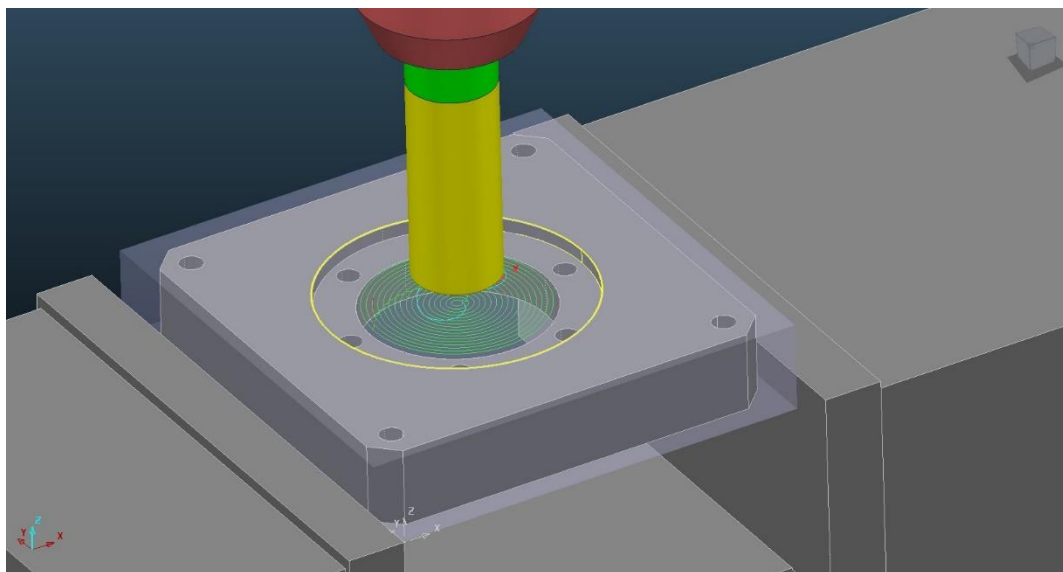
Označení nástroje	Název nástroje	Materiál/ Povlak	Řezné podmínky pro Powermill 2017		
			v_c [m/min]	v_f [mm/min]	n [1/min]
T1	Fréza Ø25 – R390 – 3 břity	SK	748	4 275	9 525
T2	Fréza Ø63 – WSX445 – 6 břitů	SK	950	4 320	4 800
T3	Fréza Ø20x65 – 4 břity	SK	204	650	3 250
T4	Vrták středící Ø10x90°	HSS/TiCN	188	1 200	6 000
T5	Vrták šroubovitý Ø6,6	SK	100	780	4 800
T6	Vrták šroubovitý Ø6,8	SK	100	780	4 800
T7	Fréza Ø10x26 – 3 břity	SK	100	500	3180
T8	Strojní závitník M8	HSS	27	200	1 000
T9	Sonda Renishaw OMP 40				

Nová strategie se zakládá na malé radiální šířce záběru ostří (přibližně 10 % průměru nástroje) a velké axiální šířce záběru ostří (až 2krát průměr nástroje). To umožňuje použít vyšší posuvové rychlosti. Tento způsob obrábění vyžaduje změnu stroje. Současné obráběcí centrum je z hlediska výkonu nedostačující. Firma disponuje širokou škálou CNC frézovacích center, nákup nového stroje tak není potřeba.

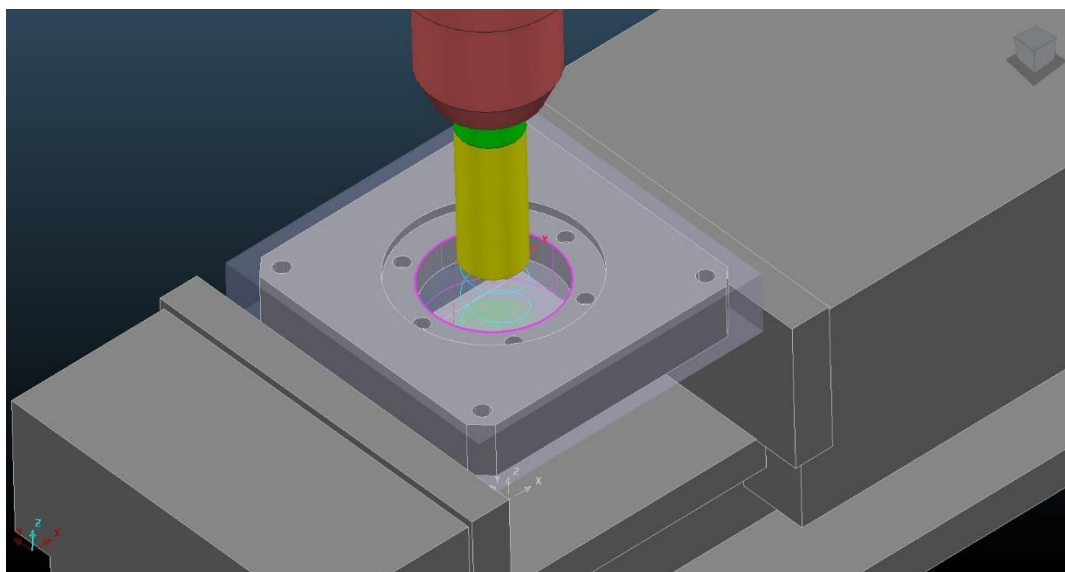
Z nástrojů nebyl použit šroubovítý vrták průměru 20 mm a fréza hrubovací průměru 40 mm. Hrubovací práce tak zastane fréza monolitní válcová čelní průměru 25 mm. Zavrtávací pohyby při obrábění jsou naprogramovány po spirále. V úvahu připadá i volba nových výkonnějších nástrojů. Schéma hrubování součásti je na obrázku 5.1 až 5.3.

Při prvním upnutí do strojního svěráku je nejdříve vyhrubována kapsa průměru 77 mm. Poté následuje hrubování průchozí díry průměru 54 mm a vnějšího obrysu součásti. Zarovnání čela probíhá ve dvou krocích. Nejprve fréza průměru 63 mm odebere první vrstvu do hloubky 1 mm s přídkem 0,5 mm na dokončení. Ve druhém kroku je dokončena čelní plocha. Následuje dokončení díry průměru 54 mm, kapsy průměru 77 mm a obrysové části dílu. Jako poslední jsou vyvrtány čtyři průchozí díry průměru 6,8 mm a sražení hran na celé součásti.

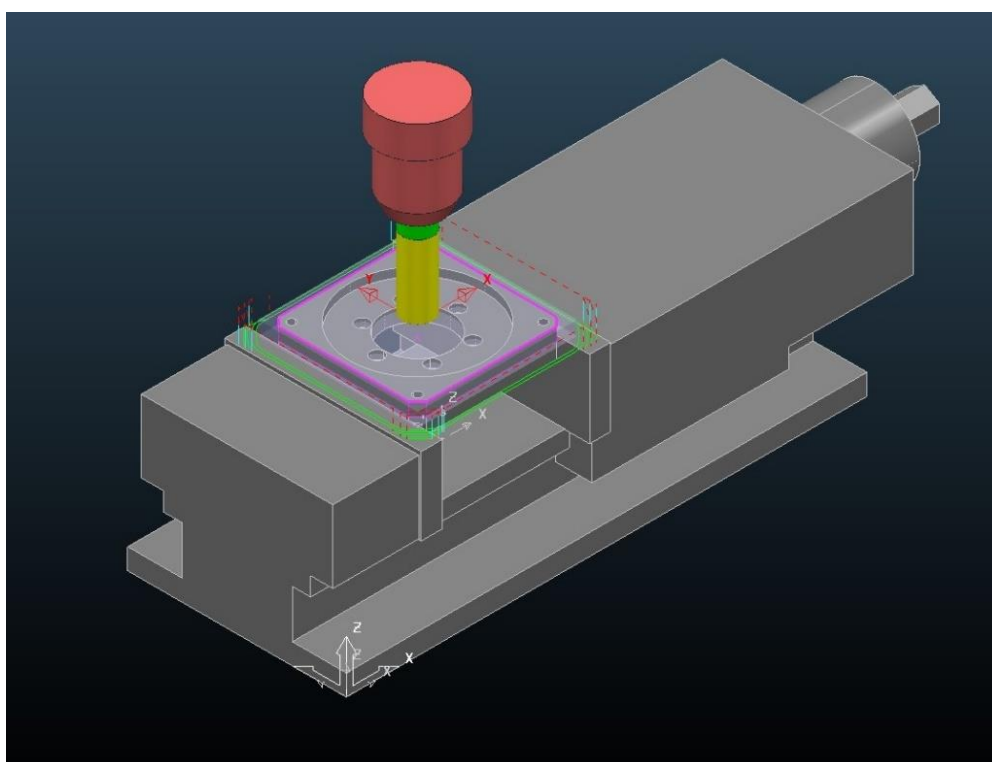
Na druhé upnutí je vyhrubována kapsa průměru 110 mm a vnější tvar součásti. Zarovnání čela probíhá stejně jako při prvním upnutí na dva kroky. Dále je dokončen vnější tvar součásti. Následuje vrtání šesti otvorů a jejich válcové zahloubení do hloubky 7 mm. Před výrobou závitu jsou díry pro závit kuželově zahloubeny. Posledním krokem je dokončení kapsy průměru 110 mm a sražení hran na celé součásti. Při obrábění druhé poloviny součásti najíždí 3x dotyková sonda Renishaw OMP 40. Proces zjišťování přesné polohy obrobku je stejný jako při současné technologii (viz kapitola 4.2).



Obr. 5.1 Hrubování díry průměru 54 mm v programu Powermill 2017.



Obr. 5.2 Hrubování kapsy průměru 77 mm v programu Powermill 2017.



Obr. 5.3 Hrubování vnějšího tvaru součásti v programu Powermill 2017.

Strojní čas obrábění, včetně výměny nástrojů, byl 16,58 minut. Tento čas byl ještě navýšen o časovou rezervu 15 %. Výsledný strojní čas byl tedy 19,07 minut. Tato hodnota je pouze teoretická a slouží jako podklad k dalším krokům zdokonalení. Nová strategie musí být nejdříve odzkoušena.

5.6 Sestavení nového technologického postupu

Nový technologický postup zahrnuje všechny změny uvedené v předchozí kapitole, kromě teoretického modelu, který zahrnuje simulaci v programu Powermill 2017. Všechna použitá zdokonalení jsou:

- návrh nového polotovaru,
- zrušení pracoviště výroby závitů,
- navýšení řezných podmínek u hrubování o 15 %,
- snížení operačního času odjehlení,
- snížení operačního času při dělení polotovaru,
- nová strategie obrábění (simulovaný výpočet).

Na základě těchto změn byl sestaven nový technologický postup viz tabulka 5.9. Nový, podrobný technologický postup je v tabulce 5.10 a 5.11. NC program ze softwaru Powermill 2017 je vyhodnocen samostatně.

Tab. 5.9 Nový technologický postup.

TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Materiál: EN AW 6082 T6		Název součásti: PŘÍRUBA	Datum: 22. 2. 2019	Číslo dílu: S–14809
Vyhotovil: Jakub Dvořák				Polotovar: 4 HR 130 – EN AW 6082 T6511		
Číslo operace	Pracoviště	Stroj	Kusů/směnu Obsluha	Popis operace	Čas operace [min]	
					Čas přípravný [min]	
10	Obrobna	Pásová pila	56	– Řezat tyč čtvercovou 130 mm na délku L = 26+1 mm	6,5	
			0,25		15	
50	Obrobna	SMV 1370–H3L	16	– Vrtat + frézovat hotově včetně řezání závitů – Odjehlít	30	
			0,5		195	
70	Ruční pracoviště		229	– Odjehlít případné ostříny a otřepy 0,2÷0,4x45°	1	
			1		0	
80	OTK	3D měřidlo Zeiss		– Kontrolovat rozměry dle výkresové dokumentace – 5 % z výrobní dávky		
90	Balírna		1600	– Vyprat v jarové vodě	0,3	
			1	– Balit jednotlivě do papíru	0	

FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List	53
---------	-----------------	------	----

Tab. 5.10 Nový podrobný technologický postup pro CNC stroj – část 1.

TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Materiál: EN AW 6082 T6	Název součásti: PŘÍRUBA	Datum: 22. 2. 2019	Číslo dílu: S-14809
Vyhotovil: Jakub Dvořák			Polotovar: 4 HR 130 – EN AW 6082 T6511		
Číslo operace	Pracoviště	Stroj	Popis operace	Nástroje/ přípravky	
50	Obrobna	SMV 1370–H3L	– Frézovat 1. polohu		
			– Upnout do svěráku za rozměr 130 mm max. do hloubky 10 mm	Strojní svěrák	
			– Vrtat průchozí díru Ø20 mm ve středu obrobku	T1	
			– Hrubovat kapsu Ø77 H7 mm do hloubky 3,5 mm s přídavkem 0,5 mm	T2	
			– Hrubovat díru Ø54 mm s přídavkem 0,5 mm	T2	
			– Hrubovat vnější tvar 125x125 mm do hloubky 15 mm s přídavkem 0,5 mm	T3	
			– Hrubovat čelní plochu na tloušťku 25 mm	T3	
			– Dokončit čelní plochu na tloušťku 24,5 mm	T4	
			– Vrtat průchozí díru Ø6,8 pro závit M8-6H 4x	T10	
			– Dokončit vnější tvar 120x120 mm	T5	
			– Dokončit kapsu Ø77 H7 (dno i stěna)	T5	
			– Dokončit díru Ø54 mm	T5	
			– Srazit hrany 0,2÷0,4 x 45°	T6	

Jako nejvýhodnější byl vybrán dodavatel 3, firma Alumeco. Cena materiálu na výrobu jednoho kusu byla stanovena na 126 Kč bez DPH včetně dopravy.

FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List	54
---------	-----------------	------	----

Tab. 5.11 Nový podrobný technologický postup pro CNC stroj – část 2.

TECHNOLOGICKÝ POSTUP		Materiál: EN AW 6082 T6	Název součásti: PŘÍRUBA	Datum: 22. 2. 2019	Číslo dílu: S-14809
Vyhotožil: Jakub Dvořák			Polotovár: 4 HR 130 – EN AW 6082 T6511		
Číslo operace	Pracoviště	Stroj	Popis operace	Nástroje/ přípravky	
50	Obrobna	SMV 1370–H3L	– Frézovat 2. polohu		
			– Obrobek otočit a upnout do strojního svěráku do hloubky 10 mm	Strojní svěrák	
			– Najetí sondy na střed díry Ø54 mm; Zjistit přesnou polohu obrobku	T11	
			– Hrubovat vnější tvar 125x125 mm do hloubky 15 mm s přídavkem 0,5 mm	T3	
			– Hrubovat čelní plochu na tloušťku 23,5 mm	T3	
			– Hrubovat kapsu Ø110 H7 mm do hloubky 6,5 mm s přídavkem 0,5 mm	T3	
			– Najetí sondy na střed díry Ø54 mm; zjistit přesnou polohu obrobku po hrubování	T11	
			– Dokončit vnější tvar 120x120 mm	T5	
			– Dokončit čelní plochu na tloušťku 23 mm	T4	
			– Vrtat průchozí díru Ø6,6 – 6x	T7	
			– Frézovat válcové zahloubení Ø11 mm do hloubky 7 mm	T9	
			– Zahloubit kuželově díru pro závit 90° na Ø 8,2+0,2 mm – 4x	T6	
			– Řezat závit M8-6H skrze celou šířku 4x	T10	
			– Svěrák povolit a lehce dotáhnout		
			– Najetí sondy na střed díry Ø54 mm; zjistit přesnou polohu obrobku před dokončením kapsy Ø110 H7	T11	
			– Dokončit kapsu Ø110 H7 (dno i stěna)	T5	
			– Srazit hrany 0,2÷0,4 x 45°	T6	

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Technicko-ekonomické zhodnocení bylo provedeno pro stávající a nový výrobní proces. Strojní čas na CNC stroji a na stroji V20-Z byl stanoven bez operace obsluhy. Strojní časy byly odečteny z řídicího panelu CNC stroje. Čas operační je součet času strojního a času obsluhy například při čištění součásti od procesní kapaliny a třísek.

Veškeré výpočty byly stanoveny na základě informací poskytnutých firmou. Do hodinové sazby jednotlivých strojů byly zakomponovány náklady na obsluhu strojů, jejich údržbu, ale i opotřebení a nákup nových nástrojů. Hodinový tarif pro strojní i vedlejší časy byl stejný. Strojní čas, respektive čas operace je však redukován s ohledem na obsluhu. To znamená, že pokud jeden operátor obsluhuje dva a více strojů, tak hodinová mzda operátora je rozdělena mezi daný počet strojů. Výrobní dávka d_v zadaná zákazníkem byla 80 kusů. Jednotlivé náklady jsou v tabulce 6.1 a 6.2.

Vedlejší a výrobní náklady na jeden kus byly spočteny dle vzorce 6.1 a 6.2 [5]:

$$N = \sum_{i=1}^m (N_s + N_v) = \sum_{i=1}^m \left(N_{sm} \cdot \frac{t_{AS}}{\text{obsluha}} + \frac{N_{vm} \cdot t_{AV}}{d_v} \right) \quad 6.1$$

$$N = \sum_{i=1}^m (N_s + N_v) = \sum_{i=1}^m \left(N_{sm} \cdot \frac{t_o}{\text{obsluha}} + \frac{N_{vm} \cdot t_{AV}}{d_v} \right) \quad 6.2$$

Do celkové ceny součásti N_c byla zahrnuta i cena materiálu.

Tab. 6.1 Ekonomické vyhodnocení stávajícího výrobního postupu.

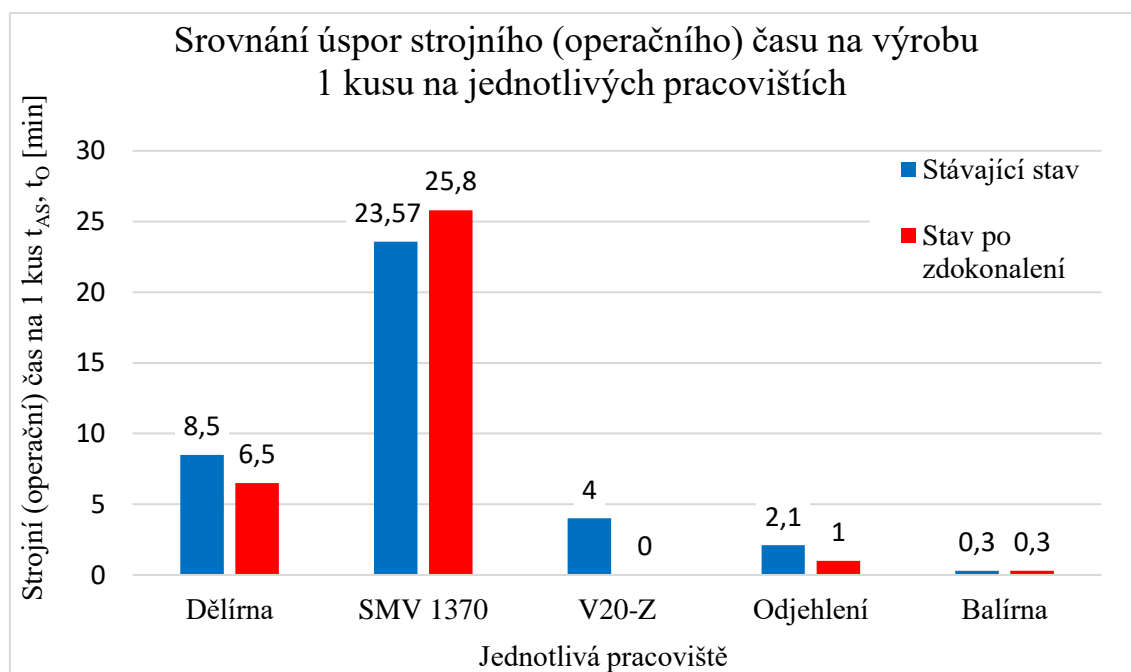
Pracoviště/ operace	Časy [min]			Obsluha	Čas přepočtený na obsluhu T_{pl} [min]	Náklady na minutu strojního i vedlejšího času $N_{vm} = N_{sm}$ [Kč/min]	Výrobní náklady na 1 kus N_s [Kč]	Náklady na přípravu 1 kusu N_v [Kč]
	t_{AS}	t_{AV}	t_o					
Polotovár	–	–	–	–	–	–	181,97 ¹	–
Dělení	–	15	8,5	3	2,83	8,83	25,03	1,66
SMV 1370	23,57	180	30	2	11,79	17,5	206,24	39,38
V20-Z	4	30	–	1	4	8,33	33,33	3,12
Odjehlení	–	–	2,1	1	2,1	7,17	15,05	–
Balírna	–	–	0,3	1	0,3	7,17	2,15	–
Součet Σ	27,57	225	10,9				463,77	44,16
Celková cena součásti N_c [Kč]					508			

Pozn.: 1 cena materiálu na výrobu 1 kusu.

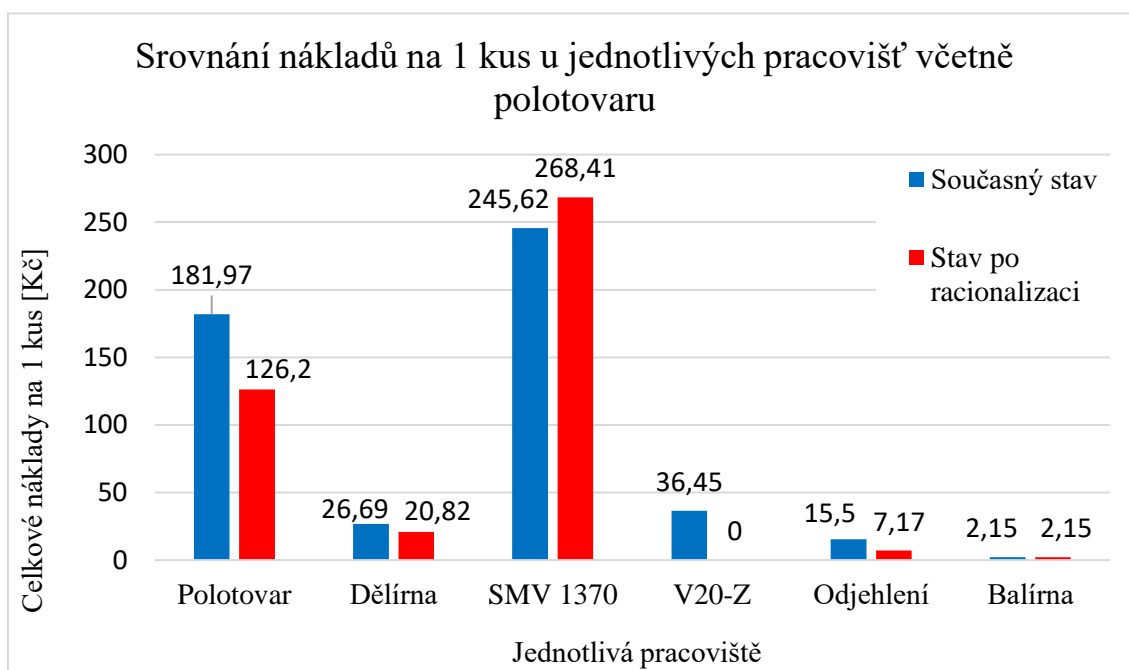
Tab. 6.2 Ekonomické zhodnocení nového výrobního postupu.

Pracoviště/ operace	Časy [min]			Obsluha	Čas přepočtený na obsluhu T_{pl} [min]	Náklady na minutu strojního i vedlejšího času $N_{vm} = N_{sm}$ [Kč/min]	Výrobní náklady na 1 kus N_s [Kč]	Náklady na přípravu 1 kusu N_v [Kč]
	t_{AS}	t_{AV}	t_o					
Polotovár	–	–	–	–	–	–	126,2 ¹	–
Dělení	–	15	6,5	3	2,17	8,83	19,16	1,66
SMV 1370	25,8	195	30	2	12,9	17,5	225,75	42,66
Odjehlení	–	–	1	1	1	7,17	7,17	–
Balírna	–	–	0,3	1	0,3	7,17	2,15	–
Součet Σ	25,8	210	7,8				380,43	44,32
Celková cena součásti N_c [Kč]					425			

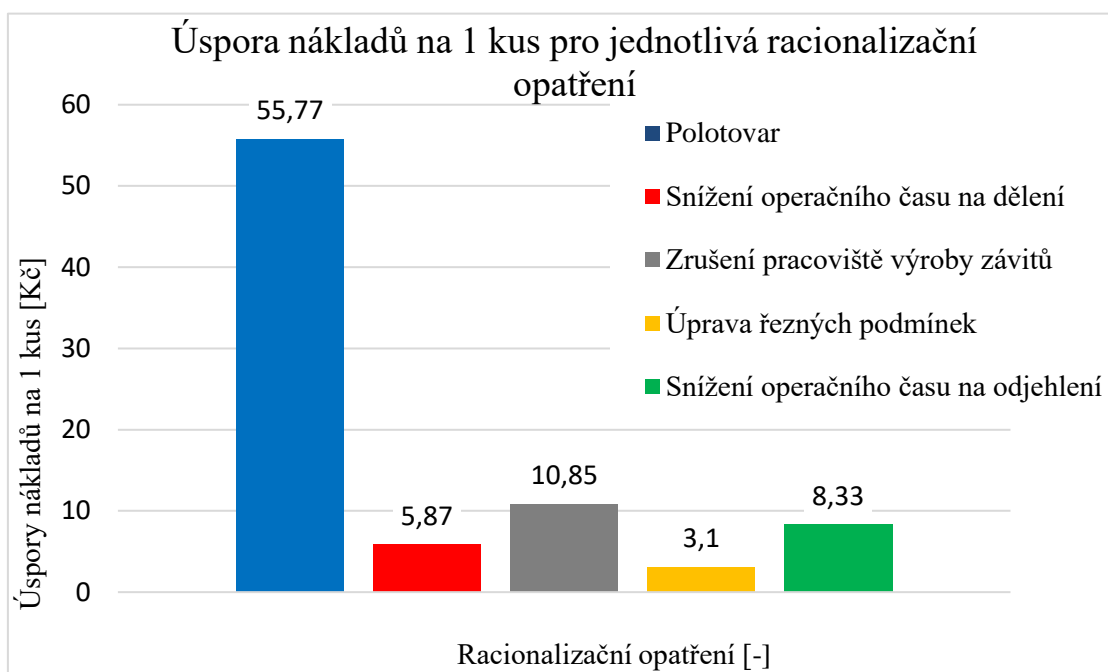
Pozn.: 1 cena materiálu pro 1 kus.



Obr. 6.1 Graf úspory času pro jednotlivá pracoviště (operace) při výrobě jednoho kusu.



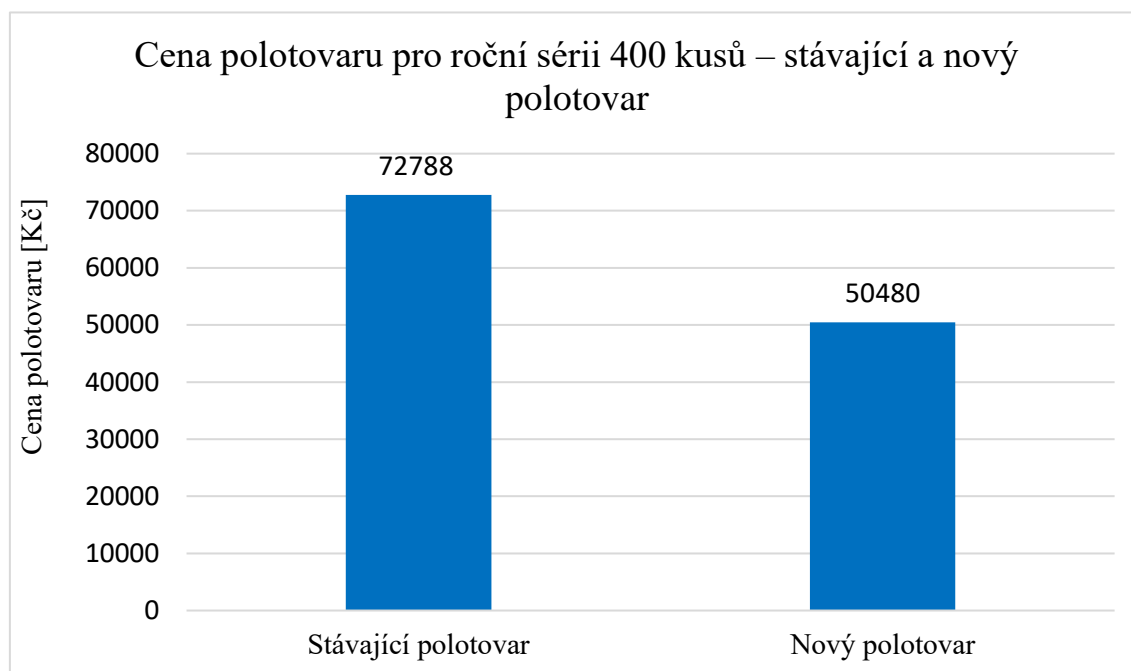
Obr. 6.2 Srovnání nákladů na 1 kus u jednotlivých pracovišť včetně polotovaru.



Obr. 6.3 Úspora nákladů na 1 kus pro jednotlivá racionalizační opatření.

Při pohledu do tabulek 6.1 a 6.2 je patrné, že rozdíl mezi původní a novou cenou výrobku byl **83 Kč**, což je **16%**. Z obr. 6.3 vyplývá, že největší úspora, a to **56 Kč**, byla v nákupu nového polotovaru. Hned na druhém místě je zrušení pracoviště výroby závitů, kde je úspora **11 Kč**. Dále odpadá manipulace s materiálem při přepravě mezi jednotlivými pracovišti.

Za uspokojivý výsledek lze považovat úspory nákladů na materiál pro **roční sérii 400 kusů**. Ta činí **22 308 Kč**, což je **31 %**.

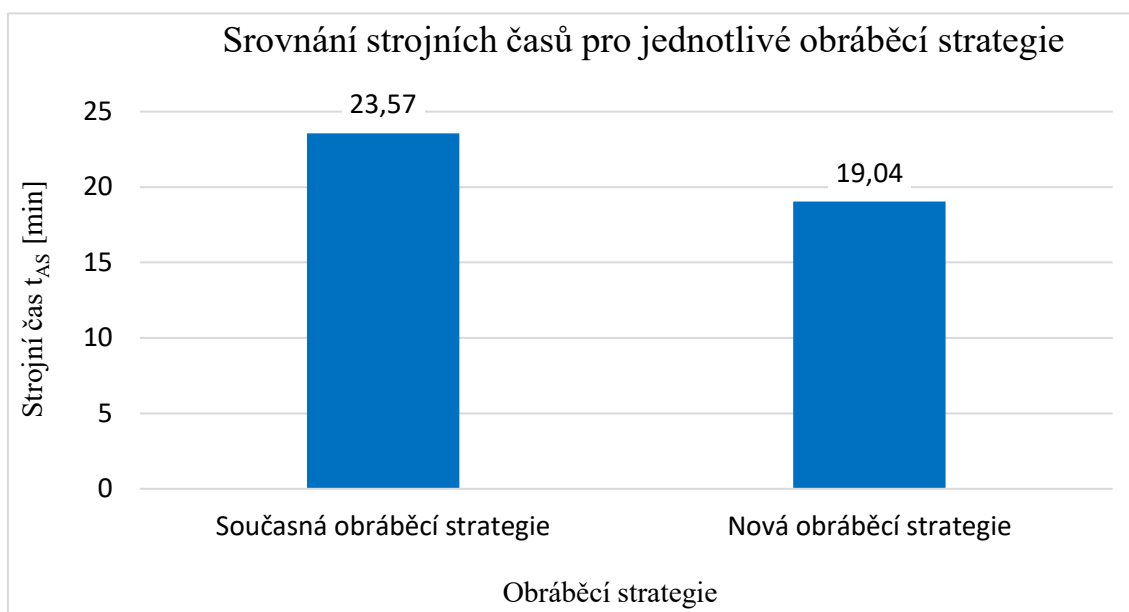


Obr. 6.4 Srovnání ceny polotovaru pro roční sérii 400 kusů.

Výše uvedené výsledky jsou praktické a odzkoušené. Následující výsledky jsou pouze teoretické a vycházejí ze zdokonalení strategie obrábění v programu Powermill 2017. Srovnání strojních časů pro stávající a novou technologii je v tabulce 6.3 a na obr. 6.5. Úspora nákladů je pouze u strojního času (tab. 6.4 a obr. 6.6). Náklady na vedlejší časy zůstaly nezměněny. Teoretická úspora výrobních nákladů na jeden kus je **40 Kč**, což je **19,2 %**. Celková výrobní cena jedné součásti včetně teoretické úspory výrobních nákladů je **385 Kč**. To je úspora **24,2 %** na jedné součásti viz obr. 6.7.

Tab. 6.3 Srovnání strojních časů pro jednotlivé obráběcí strategie.

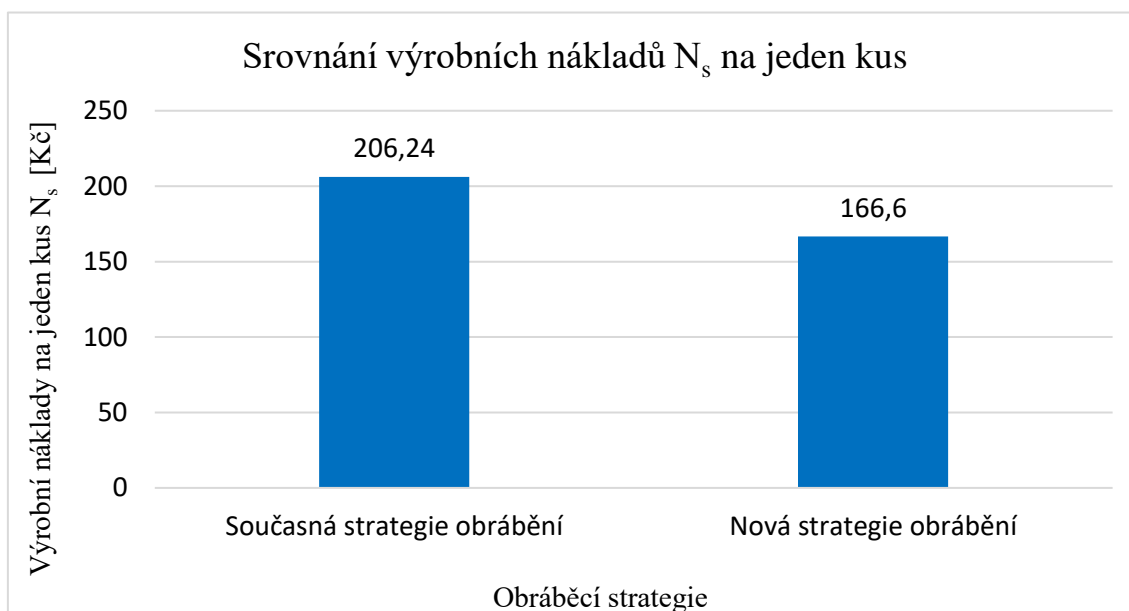
	Strategie obrábění	
	Současná	Nová
Strojní čas t_{AS} [min]	23,57	19,04



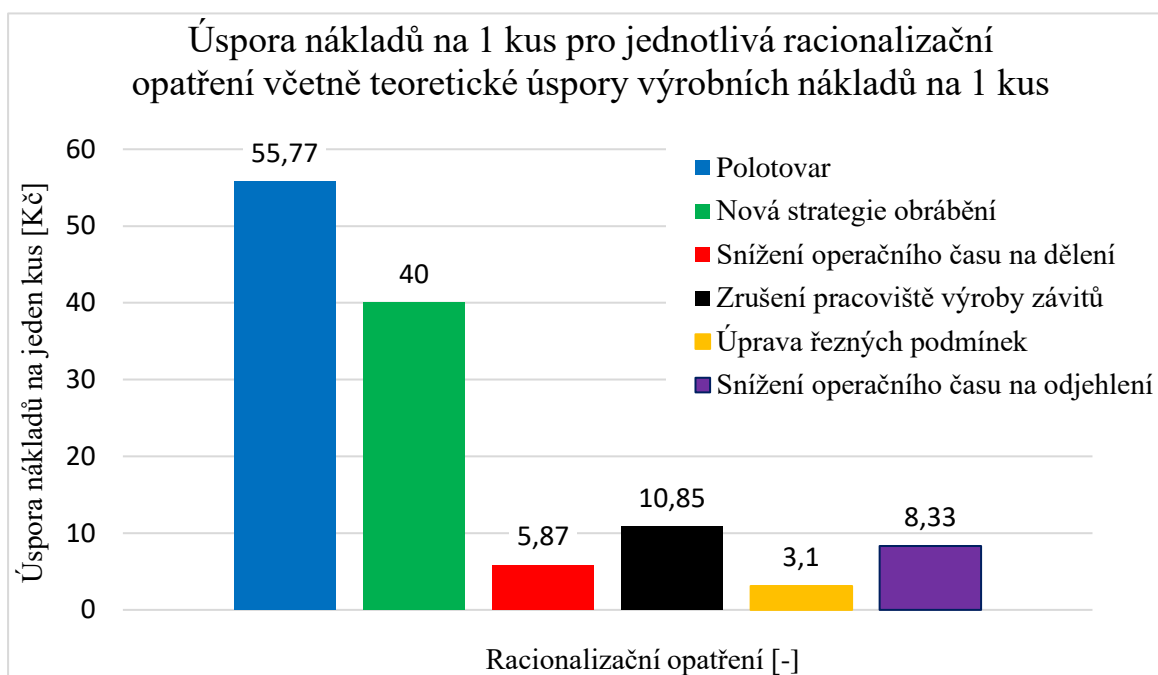
Obr. 6.5 Srovnání strojních časů pro jednotlivé strategie.

Tab. 6.4 Srovnání výrobních nákladů na jeden kus výrobku.

	Současná strategie obrábění	Nová strategie obrábění
Výrobní náklady na jeden kus N_s [Kč]	206,24	166,6



Obr. 6.6 Srovnání výrobních nákladů na jeden kus výrobku.



Obr. 6.7 Úspora nákladů na 1 kus pro jednotlivá racionalizační opatření včetně teoretické úspory výrobních nákladů na 1 kus.

ZÁVĚR

V teoretické části byly popsány jednotlivé technologie, které jsou na součásti zastoupeny. Jedná se o technologie frézování, vrtání a výroba závitů. Dále byly charakterizovány rezné materiály, které jsou nejčastěji využívány pro obrábění hliníkových slitin. To se týkalo slinutého karbidu a polykrystalického diamantu. Jako poslední bylo seznámení se slitinami hliníku.

V praktické části byl popsán podrobný rozbor stávajícího technologického postupu, který zahrnoval popis polotovaru, výrobních strojů, nástrojů a obrobku. Po rozboru následovalo zdokonalení. Racionalizační opatření zahrnovalo nový výběr polotovaru, snížení strojního času zrušením pracoviště výroby závitů a také kvůli zvýšení otáček a posuvové rychlosti u hrubování o 15 %. Došlo také ke snížení operačních časů při dělení materiálu a při závěrečném odjehlení součásti. Následně byla navržena nová obráběcí strategie v programu Powermill 2017. Z nového NC programu vyplynulo snížení strojního času o 19,2 %. Tato úspora je pouze teoretická a byla navýšena o rezervu 15 %. Všechna opatření byla navržena za účelem snížení výrobních nákladů na jeden kus součásti. Po provedení technicko-ekonomického zhodnocení bylo dosaženo následující výsledků:

- úspora celkových výrobních nákladů 83 Kč na 1 kus, což je 16 %,
- náklady na vedlejší časy zůstaly stejné,
- roční úspora nákladů na koupi polotovaru 22 308 Kč,
- zrušení pracoviště výroby závitů a přesun na CNC stroj (vyšší využitelnost stroje),
- vyšší stupeň využitelnosti materiálu nového polotovaru o 6 %, na 35,9 %,
- snížení manipulace s materiálem při přesunu na pracoviště výroby závitů,
- teoretická úspora výrobních nákladů na jeden kus o 40 Kč, tedy o 19,2 %,
- teoretická cena součásti (při zahrnutí teoretické úspory výrobních nákladů na jeden kus) je 385 Kč, což je úspora 24,2 %,
- teoretická úspora nákladů na nástroje, vlivem redukce nástrojů v programu Powermill 2017.

Vzhledem k tomu, že tato příruba je vyráběna ve 110 různých alternativách, je možné použít racionalizační opatření na všechny typy těchto přírub. Jednotlivé příruby se liší rozměrově, tvarově si však jsou velmi podobné. Díky neinvestičním opatřením jsou tato zdokonalení pro podnik finančně i kapacitně dostupná. Firma se rozhodla pro zavedení pouze některých těchto opatření.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [2] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 270 s.: il. ISBN 80-214-3068-0.
- [3] *International Aluminium Institute* [online]. 2018, [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <http://www.world-aluminium.org/statistics/#data>
- [4] *Technická příručka obrábění: soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů*. Praha: Sandvik Coromant, 2005, [601] s.: il. (převážně barev.).
- [5] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 1. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [6] Výpočtové vztahy a definice pro frézování. Sandvik Coromant. [online]. [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/milling.aspx>
- [7] *Obráběcí centra*. Sandvik Coromant. [online]. [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/machine-tooling-solutions/machines/pages/machining-centres.aspx>
- [8] *Sousledné a nesousledné frézování*. Sandvik Coromant. [online]. [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/pages/up-milling-vs-down-milling.aspx>
- [9] BORO VAN, Petr. Řezné nástroje (7). *Technický týdeník* [online]. 2011, [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/rezne-nastroje/rezne-nastroje-7_8519.html
- [10] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Základní metody obrábění - 1. část* [online]. Interaktivní multimediální text pro magisterskou formu studia. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/zakl_met_obr/zakl_met_obr_1.pdf
- [11] *Sousledné a nesousledné frézování*. Sandvik Coromant. [online]. [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/pages/up-milling-vs-down-milling.aspx>

FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List	63
---------	-----------------	------	----

- [12] *Sandvik Coromant kalkulačka*. [online]. [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/toolguide.aspx#%2Fdashboard>
- [13] MATĚJÍČEK Jan. *Je rohové frézování opravdu tak jednoduché?* SECO Tools. MM spektrum [online]. 2018, Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/je-rohove-frezovani-opravdu-tak-jednoduche.html>
- [14] PLÁNIČKA František. *Nové frézy zvyšují produktivitu*. MM Průmyslové spektrum [online]. 2014, (6) [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nove-frezy-zvysuji-produktivitu.html>
- [15] ZEMČÍK, Oskar, *Nástroje a přípravky na obrábění*. [přednáška]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 14. 3. 2017.
- [16] MIKULOVÁ, Michaela. *Frézovací stroje současné produkce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 34 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Blecha, PhD.
- [17] KAMENICKÁ, Pavlína. *Způsoby upínání nástrojů a obrobků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.
- [18] *Obráběcí stroje pro frézování*. Sandvik Coromant. [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/getting_started/machines_for_milling/pages/default.aspx
- [19] POLZER Aleš. *Akademie CNC obrábění (11)*. Technický týdeník [online]. 2009, [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-11_8546.html
- [20] MAREK Jiří. Multifunkční obráběcí centra. *MM Průmyslové spektrum*. 2018, č. 12, s 60-62. ISSN 1212-2572
- [21] ŘÍMOVSKÝ Pavel a Jaroslav MUDRÁK. *Příprava stroje před obráběním – upínání obrobků a vyrovnaní svěráku*. [prezentace]. In: Elektronická učebnice [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1229/komponenty/1606/show_ppt

FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List	64
---------	-----------------	------	----

- [22] *Upínání nástrojů*. [elektronická učebnice]. Elektronická učebnice-Olomoucký kraj, [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/sections/1228>
- [23] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 2. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
- [24] POLZER Aleš. *Akademie CNC obrábění (23)*. Technický týdeník [online]. 2009, [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-23_8558.html
- [25] *Aplikace CoroPlus ToolGuide-Vrták CoroDrill 860*. Sandvik Coromant [online]. [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/toolguide.aspx#%2Fdashboard>
- [26] *Vyšší výkon a produktivita při vrtání v materiálech ISO P*. SECO Tools [online]. [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/#article/82901>
- [27] PLÁNIČKA František. *Produktivní vrtání Inconelu 718. MM Průmyslové spektrum* [online]. 2018, (6) [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/produktivni-vrtani-inconelu-718.html>
- [28] Walter tools. *Produktová příručka vrtání a závitování*. [online]. 2009, [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/manuals/cs-cz/handbook-drilling-threading-2009-cz.pdf>
- [29] Walter tools. *Produktová příručka závitování*. [online]. 2012, [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/manuals/cs-cz/handbook-prototyp-threading-2012-cz.pdf>
- [30] Sandvik Coromant. *Výroba závitů – uživatelská příručka*. [online]. 118 s., [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/technical%20guides/cs-cz/c-2920-031.pdf>
- [31] Dormer tools. *Technická příručka*. [online]. 2013, 207 s., [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: https://www.mav.cz/dormer/Technicka_prirucka_2013.pdf

- [32] Sandvik Coromant. *Jak zvolit vhodný typ závitníku*. [online]. [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/threading/tapping/pages/how-to-choose-tap-type.aspx>
- [33] DIETHARD, Thomas, ŘASA, Jaroslav, ed. Srovnání řezacích a tvářecích závitníků. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2017, (44), [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/srovnani-rezacich-a-tvarecich-zavitniku.html>
- [34] PLÁNIČKA, František. Precizní závitové nástroje. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2014, 2014 (12), 38 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/precizni-zavitove-nastroje.html>
- [35] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2
- [36] Nástroje pro obrábění hliníkových slitin s mikroleštěným povrchem. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002, (4) [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nastroje-pro-obrabeni-hlinikovych-slitin-s-mikrolestenym-povrchem.html>
- [37] Přehled nástrojových materiálů v současnosti. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. MM Publishing, 2018 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/rezne-materialy-soucasnosti.html>
- [38] PÍŠKA, Miroslav a Katrin BUČKOVÁ. Řezné materiály současnosti. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2018, (2018/5), 50 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/rezne-materialy-soucasnosti.html>
- [39] DVOŘÁK, J. Produktivní frézování hliníkových slitin. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2017. 53 s. 2 přílohy. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.
- [40] DE VOS, Patrick. Příručka pro technology – Opotřebení se nevyhneme! *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012, **2012**(6), 56 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-opotrebeni-se-nevyhneme.html>
- [41] *Pozornost se upíná na neželezné materiály*. Sandvik Coromant [online]. 1-11, [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/brochures/cs-cz/c-1040-196.pdf>

FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List	66
---------	-----------------	------	----

- [42] Nástrojové materiály. *Sandvik Coromant* [online]. Prague [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/pages/cutting-tool-materials.aspx>
- [43] HAVLÍKOVÁ, Hana. Studium povlakovací technologie HIPIMS pro řezné nástroje. Brno 2018. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 75 s. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
- [44] Space provides new frontier for advanced sputter coating. In: *New Materials International* [online]. Sheffield Hallam University, UK, 2013 [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: https://www.newmaterials.com/News_Detail_Space_provides_new_frontier_for_advanced_sputter_coating_12917.asp
- [45] PLÁNÍČKA, František. PKD frézovací technologie. *MM Průmyslové spektrum* [online]. **2013**(6), 66 [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/pkd-frezovaci-technologie.html>
- [46] WALTER CZ. Komplexní obrábění ploch-jeden nástroj. *MM Průmyslové spektrum*. 2019, **2019**(1,2), 66-67. ISSN 1212-2572.
- [47] MICHNA, Štefan a Lenka MICHNOVÁ. *Neželezné kovy*. Vydání první. Ústí nad Labem: Štefan Michna, Lenka Michnová, 2014, 245 stran. ISBN 978-80-260-7132-7.
- [48] MICHNA, Štefan. *Encyklopedie hliníku*. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005, 700 s. ISBN 80-89041-88-4.
- [49] DORAZIL, Eduard. *Nauka o materiálu I. část*. Praha: SNTL, 1973, 218 s.
- [50] PODRABSKÝ, Tomáš, Martin JULIŠ, Karel NĚMEC. Neželezné kovy a jejich slitiny [přednáška]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, In: Ústav materiálového inženýrství [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/vyuka/struktura_a_vlastnosti_materialu/prednasky/09%20-%20Nezelezne%20kovy%20A.pdf
- [51] About Aluminium. *Constellium* [online]. Nizozemsko [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://www.constellium.com/about-constellium/about-aluminium>
- [52] Crash alloys in Body-in-White (BiW) structures: undisputable tests results. In: *Constellium* [online]. Nizozemí [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://www.constellium.com/sites/default/files/market/constelliumsecuralexr.pdf>

FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List	67
---------	-----------------	------	----

- [53] ŠANOVEC, Jan a Tomáš PILVOUSEK. Crashový test a jeho vyhodnocování u firmy Constellium. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2016 [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/lehke-konstrukce-osobnich-automobilu-pouziti-hliniku.html>
- [54] CHENAL, Bruno. *Aluminium Light-weighting for transportation* [online]. In: Nancy, 2016, s. 1-18 [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://www.a3ts.org/wp-content/uploads/2018/02/B.-CHENAL-Constellium-.pdf>
- [55] ŠANOVEC, Jan a Tomáš PILVOUSEK. *Diagram závislosti pevnosti na tažnosti pro různé hliníkové legované slitiny*. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2016 [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/lehke-konstrukce-osobnich-automobilu-pouziti-hliniku.html>
- [56] Nové obrobitelné slitiny hliníku bez olova. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2001, (7) [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-obrobitelne-slitiny-hliniku-bez-olova.html>
- [57] ŠANOVEC, Jan a Tomáš Pilvousek. Lehké konstrukce osobních automobilu – použití hliníku. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2016, **2016**(4), 96 [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/lehke-konstrukce-osobnich-automobilu-pouziti-hliniku.html>
- [58] Obráběné materiály. *Sandvik Coromant* [online]. Česká republika [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/pages/workpiece-materials.aspx>
- [59] NOVOTNÝ, M. Technologie CNC výroby součásti z hliníkové slitiny. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 84 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
- [60] *Znojenské strojírny* [online]. Česká republika, 2012 [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <http://www.strojirny.cz/inovace.php>
- [61] SMV 1370.H3L. *Finetech* [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <http://www.finetech.com.tw/en/products-17-23-16#>
- [62] Katalog hliníku. *Primapol* [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: https://catalogue-en.primapol.cz/catalogues/Primapol_EN/Aluminum_Hlink_EN/index.html#/12/zoomed
- [63] ČSN EN 12258-1 - Hliník a slitiny hliníku – Termíny a definice – Část 1: Obecné termíny. Dostupné z: <https://www.nlnorm.cz/terminologicky-slovník/52280>

- [64] Eloxování. *Alumeco* [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.alumeco.cz/technick%C3%A9-informace/povrchov%C3%A9-o%C5%A1et%C5%99en%C3%AD/eloxov%C3%A1n%C3%AD>
- [65] DE VOS, Patrick. Opotřebení nástroje – nárůstek. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-opotrebeni-se-nevyhneme.html>
- [66] ZEMČÍK, Oskar. *Technologická příprava výroby* [online]. Brno [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=opory>. Skriptum.
- [67] Chladicí maziva Rhenus. Ecool-group [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.ecool-group.cz/wp-content/uploads/ecool-tfm-s.r.o.-chladici-maziva-rhenus.pdf>
- [68] Tyče čtvercové, lisované. ALCOM AVAL [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <http://www.hlinik.cz/media/files/product/item/files-5/tyce%20ctvercove%20lisovane%206082.pdf>
- [69] Tyče čtvercové, lisované EN AW 6082. ALUMECO [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.alumeco.cz/tye/tvercove-tye/en-aw-6082/130-mm/p/475/9127>
- [70] EDGE CAM Waveform. *Edgecam* [online]. [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <http://www.edgecamcz.cz/edgecam-waveform>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
AC	[-]	Aluminium Cast Product – hliníkové odlévané výrobky
AW	[-]	Aluminium Wrought Product – hliníkové tvářené výrobky
BTA	[-]	Boring and Trepanning Association – vrtací systém
CNC	[-]	Computer Numerical Controlled – číslicové řízení počítačem
CO ₂	[-]	oxid uhličitý
CVD	[-]	Chemical Vapour Deposition – chemické napařování
ČSN	[-]	Česká technická norma
DPH	[-]	daň z přidané hodnoty
EN	[-]	European norm (Euronorm) – Evropská norma
HB	[-]	tvrdost podle Brinella
HFC	[-]	High Feed Cutting – vysokoposuvové obrábění
HIP	[-]	Hot Isostatic Pressing – vysokoteplotní izostatické lisování
HiPIMS	[-]	High-Power Impulse Magnetron Sputtering – vysoko-výkonné pulzní magnetronové napařování
HPC	[-]	High Performance Cutting – vysokovýkonné obrábění
HSC	[-]	High Speed Cutting – vysokorychlostní obrábění
HSS	[-]	High Speed Steel – rychlořezná ocel
HV	[-]	tvrdost dle Vickerse
IAI	[-]	International Aluminium Institute – Mezinárodní institut pro hliník
ISO	[-]	International Organization for Standardization – Mezinárodní organizace pro normalizaci
MIG	[-]	Metal Inert Gas – metoda svařování pomocí tavící se elektrody v inertním plynu
MTCVD	[-]	Middle Temperature CVD – metoda CVD za středních teplot
OMP 40	[-]	označení měřící sondy od firmy Renishaw
OTK	[-]	odbor technické kontroly
PKD	[-]	polykrystalický diamant
PKNB	[-]	polykrystalický kubický nitrid bóru
PP	[-]	pásová pila
PVD	[-]	Physical Vapour Deposition – fyzikální napařování
ŘP	[-]	řezné podmínky

FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List	70
---------	-----------------	------	----

SK	[-]	slinutý karbid
SMV 1370 – H3L	[-]	označení CNC stroje od firmy Finetech
T6	[-]	stav tepelného zpracování Al slitin
T650	[-]	stav tepelného zpracování Al slitin
T6511	[-]	stav tepelného zpracování Al slitin
TIG	[-]	Tungsten Inert Gas – metoda svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu
TZ	[-]	tepelné zpracování
V20-Z	[-]	označení konvenčního stroje (závitořez)
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
WC	[-]	karbid wolframu
ZS	[-]	Znojenské strojírny

Symbol	Jednotka	Popis
A	[%]	tažnost
a	[mm]	výška polotovaru
A_{50mm}	[%]	prodloužení vztažené k počáteční měřené délce 50 mm
A₈₀	[%]	tažnost při počáteční délce 80 mm zkušebního tělesa
b	[mm]	šířka polotovaru
D	[mm]	průměr nástroje
D_c	[mm]	průměr nástroje (vrtáku) = průměr vrtané díry
D_p	[mm]	průměr polotovaru
d_v	[ks]	výrobní dávka
f_n	[mm]	posuv na otáčku
f_z	[mm]	posuv na zub
k	[-]	koeficient, kterým firma násobí vedlejší čas
k_c	[N/mm ²]	měrná řezná síla
k_m	[-]	stupeň využití materiálu
L	[mm]	hloubka díry
l_k	[mm]	délka nevyužitého konce tyče polotovaru
L_p	[mm]	délka přířezu z polotovaru
L_{pol}	[mm]	délka polotovaru
L_s	[mm]	délka hotové součásti
N	[Kč]	výrobní náklady na 1 kus výrobku
n	[1/min]	otáčky nástroje
N_c	[Kč]	výrobní náklady na 1 kus výrobku včetně ceny materiálu
N_m	[kg]	norma spotřeby materiálu
n_p	[ks]	počet přířezů z jedné tyče polotovaru
N_s	[Kč]	výrobní náklady na 1 kus součásti
N_{sm}	[Kč/min]	náklady na jednu minutu strojního a operačního času
N_v	[Kč]	náklady na přípravu 1 kusu součásti
N_{vm}	[Kč/min]	náklady na jednu minutu vedlejšího času
m	[-]	počet výrobních operací

FSI VUT	DIPLOMOVÁ PRÁCE	List	72
---------	-----------------	------	----

M_d	[N/m]	krouticí moment
p	[mm]	celkový přídavek
q_d	[kg]	ztráta materiálu vzniklá dělením tyče
q_k	[kg]	ztráta materiálu koncovým odpadem
Q_p	[kg]	hmotnost přířezu
Q_s	[kg]	hmotnost hotové součásti
R_a	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
R_m	[MPa]	mez pevnosti
R_{p0,2}	[MPa]	smluvní mez kluzu
R_z	[μm]	nejvyšší výška profilu
S_m	[kg]	spotřební množství
S_p	[kg]	poptávané množství
S_r	[mm]	spotřební rozměr
T	[min]	tolerance
t_{AS}	[min]	strojní čas
t_{AV}	[min]	vedlejší čas
t_O	[min]	operační čas
T_{pl}	[min]	čas přepočtený na obsluhu
u	[mm]	délka prořezu
v_c	[m/min]	řezná rychlost
v_f	[mm/min]	posuvová rychlost
v_m	[mm]	středová dráha nástroje
V_r	[mm]	výchozí rozměr
z	[-]	počet břitů nástroje
α	[1/10 ⁶ ·K]	Součinitel délkové roztažnosti
λ	[W/m·K]	měrná tepelná vodivost
ρ	[g/cm ³]	hustota
σ_k	[GPa]	pevnost v tlaku
σ_o	[MPa]	pevnost v ohybu
σ_t	[MPa]	pevnost v tahu

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výkres součásti

